Vedere Artificială
(Computer Vision)

Bogdan Alexe

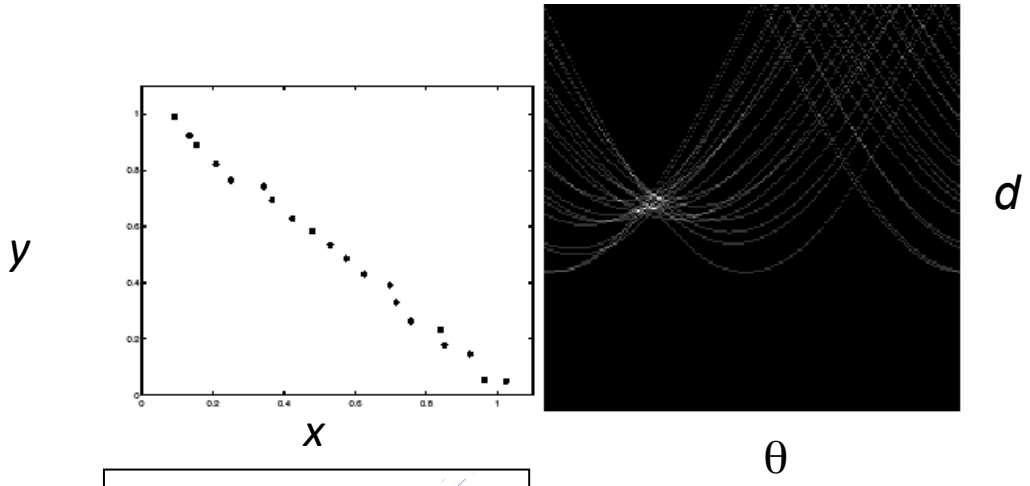
bogdan.alexe@fmi.unibuc.ro

anul 2, master Informatică, semestrul I, 2019-2020

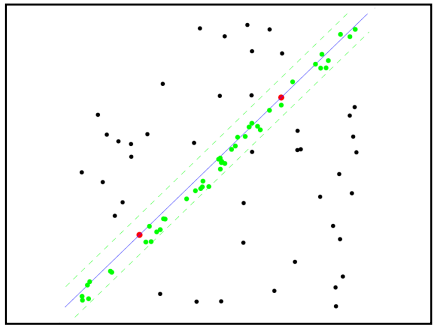
Recapitulare – cursul trecut

1. Detectarea liniilor

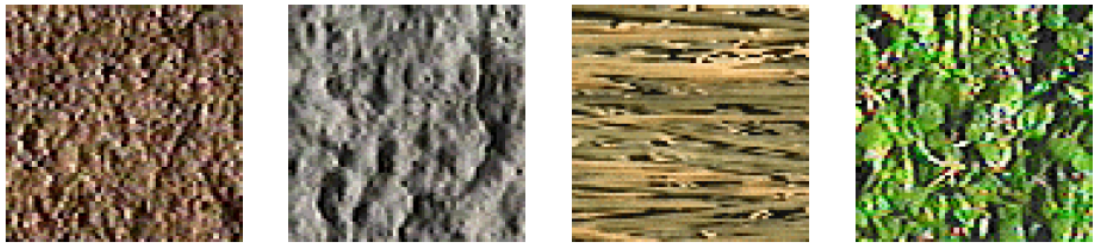
   - transformata Hough



   - algoritmul RANSAC

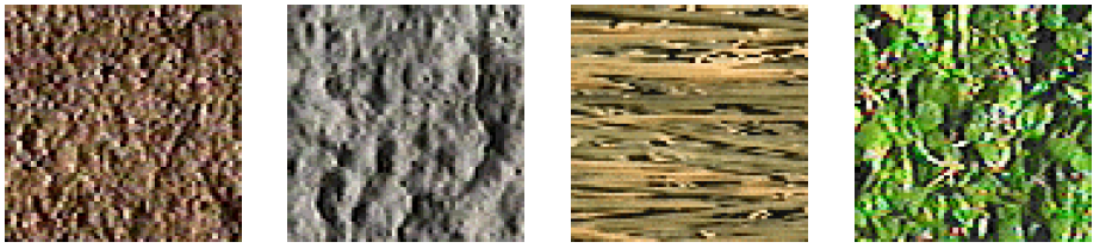


2. Textură: reprezentare

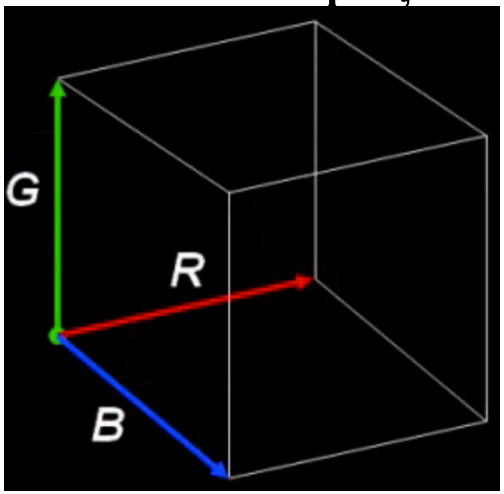


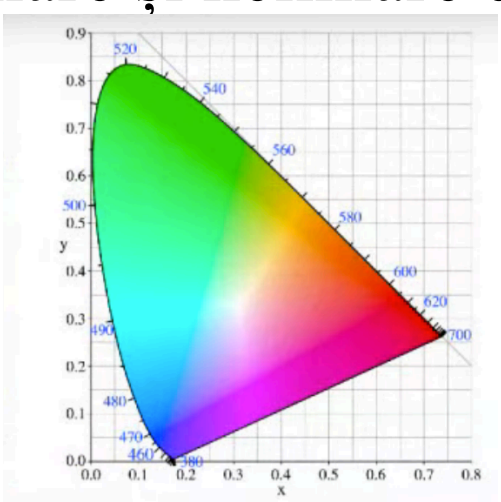
Planul cursului de azi

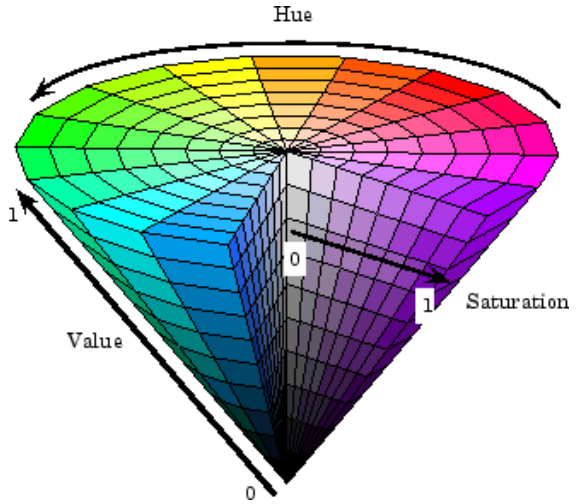
1. Textură: sinteză, transfer



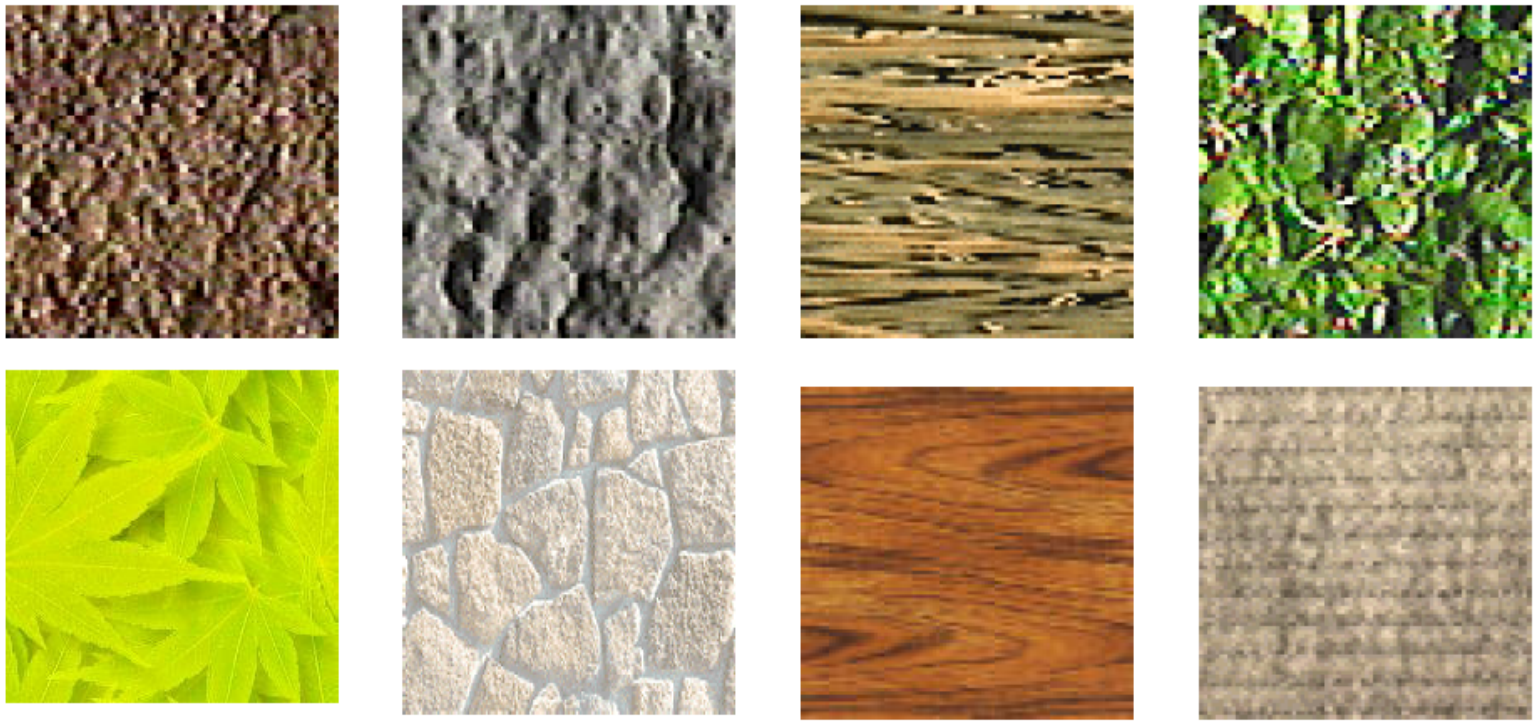
2. Culoare – spații liniare și neliniare de culori







Textură - exemple



Ce defineşte o textură?

Structuri similare de pixeli (pattern-uri) care se repetă

Aspect similar la o scală fixată

Satisfac anumite proprietăți statistice

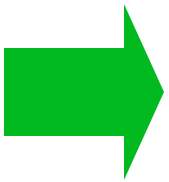
Textură – reprezentare

- abordare clasică din Computer Vision: calculul unor statistici în imagine pentru reprezentarea texturii
  - statistici extrase din matricea de cooncurență
  - folosită pentru clasificare și segmentare

- abordare pe baza de filtre
  - foloseşte filtre care arată ca pattern-urile
  - reține valoarea răspunsului după filtrare
  - fiecare pixel este reprezentat de un vector de răspunsuri la filtre, reprezintă signatura texturii

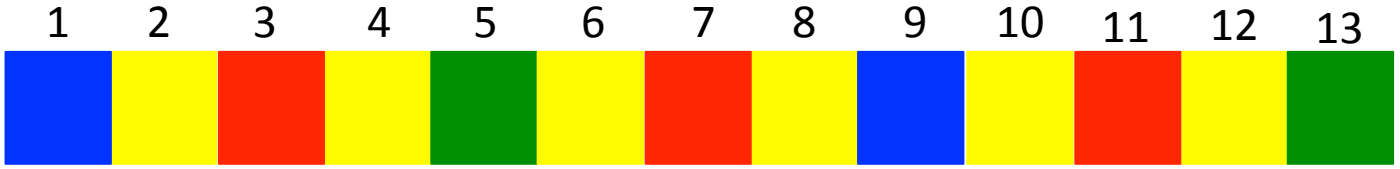
Sinteza texturii

- Scop: generarea de noi exemple de textură (dimensiuni mari) pe baza unui mostre (dimensiuni mici)
- Aplicații: îmbogățirea mediilor virtuale cu textură, jocuri pe calculator, acoperirea găurilor



Slide adaptat după K. Grauman

Probabilitate



P(pixel =) = 2/13

P(pixel =) = 3/13

P(pixel =) = 6/13

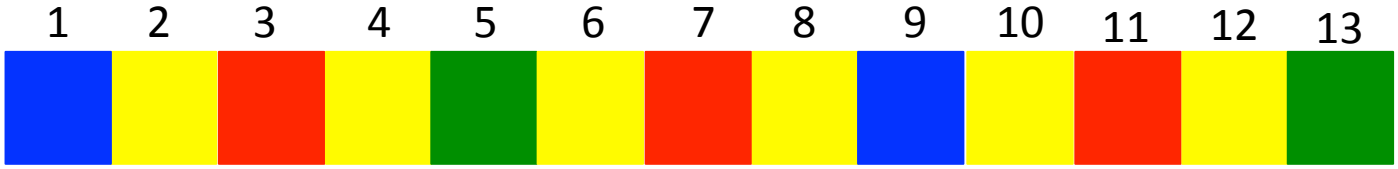
P(pixel =) = 2/13

2/13 + 6/13 + 3/13 + 2/13 = 1

Probabilitate = Nr cazuri favorabile / Nr cazuri totale

Suma = 1

Probabilitate condiționată



P(pixel = | pixelul din stânga =) = 3/6

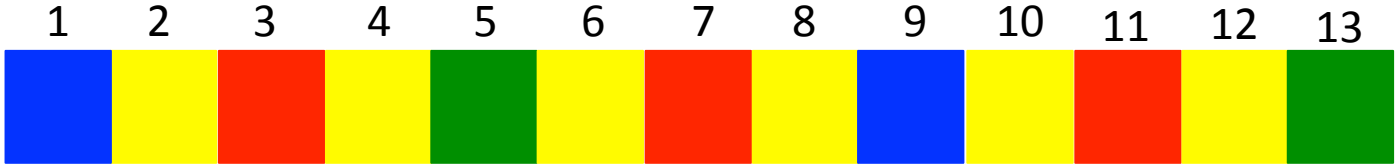
P(pixel = | pixelul din stânga =) = 1/6

P(pixel = | pixelul din stânga =) = 0/6

P(pixel = | pixelul din stânga =) = 2/6

3/6 + 1/6 + 0/6 + 2/6= 1

Probabilitate condiționată



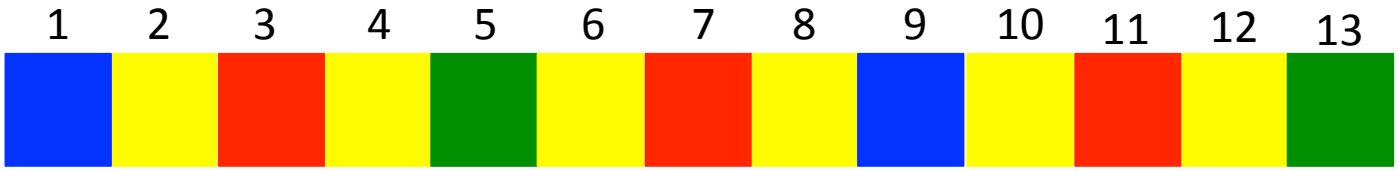
P(pixel =  | pixelul din stânga = ) = 0/2

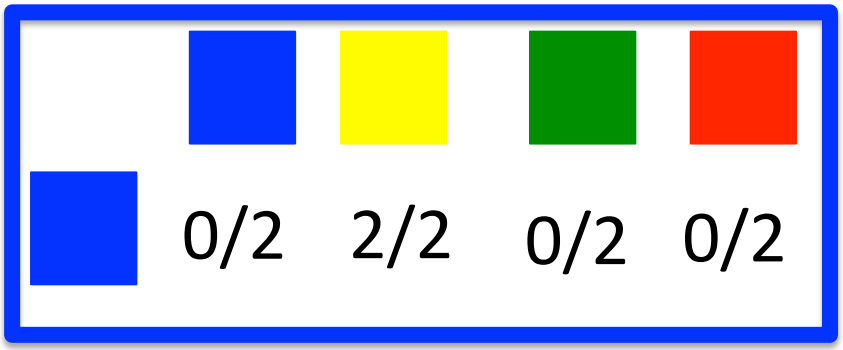
P(pixel =  | pixelul din stânga = ) = 0/2

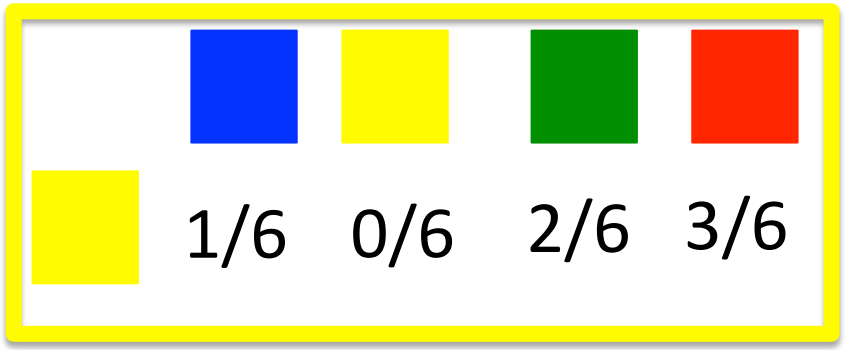
P(pixel = | pixelul din stânga = ) = 2/2

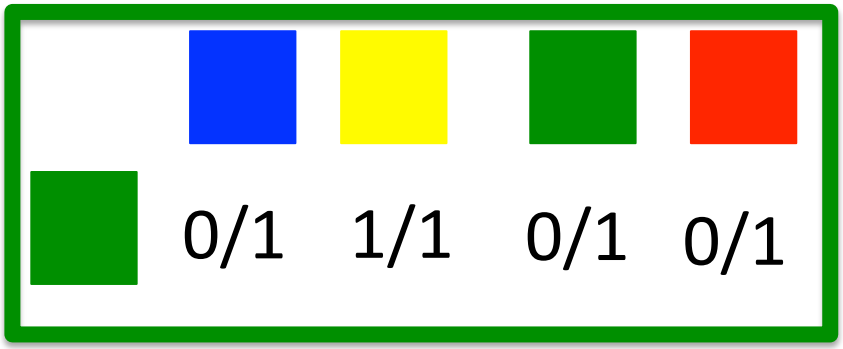
P(pixel =  | pixelul din stânga = ) = 0/2

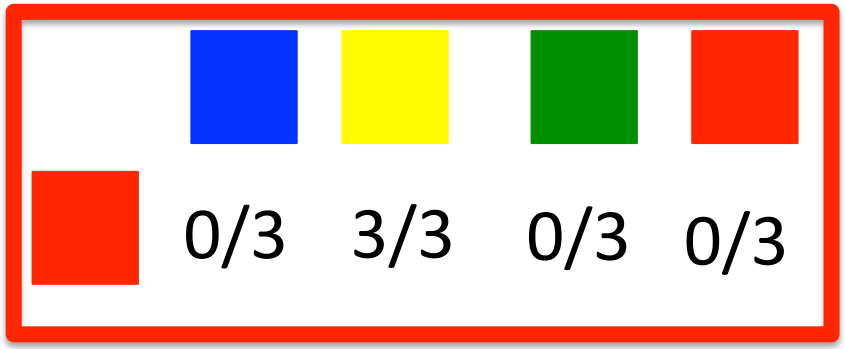
Probabilitate condiționată





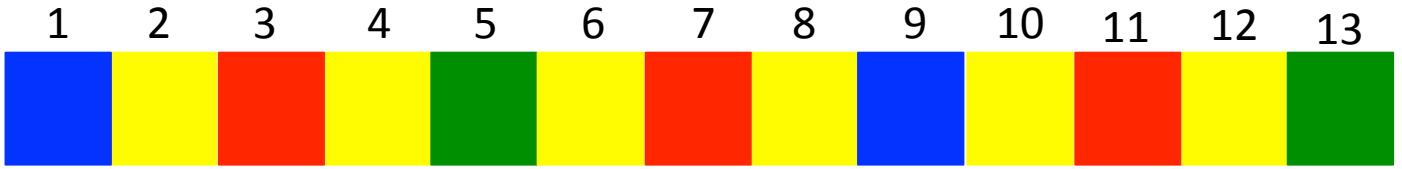


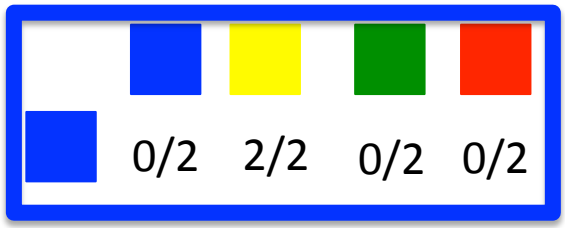


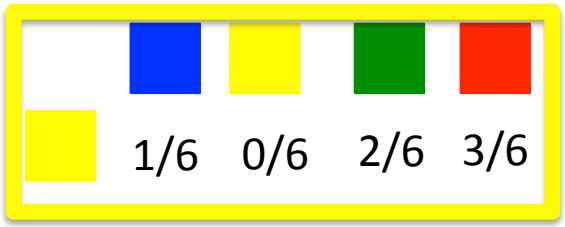


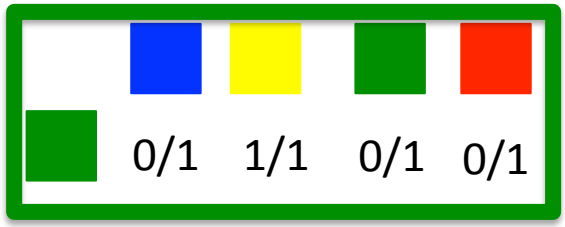
Completăm textura

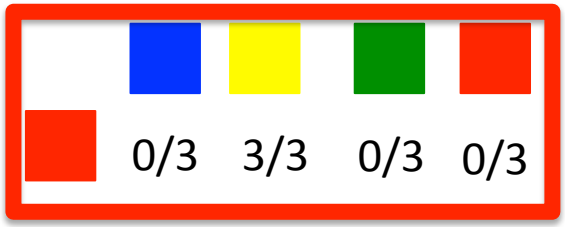
Completăm textura pixel cu pixel după următoarea regulă: observăm vecinul din stânga si apoi selectăm un pixel din distribuția condiționată (fără să o updatăm).





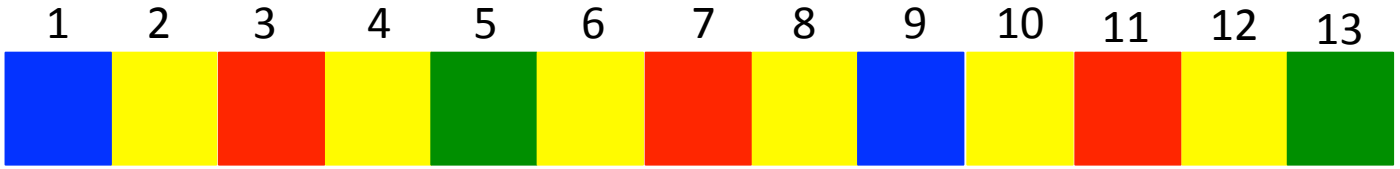


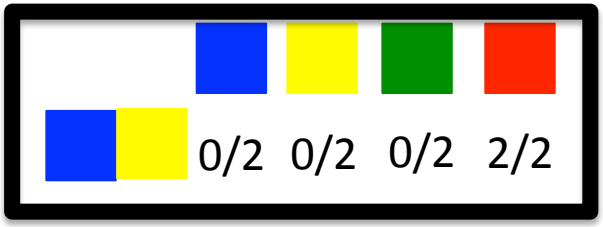


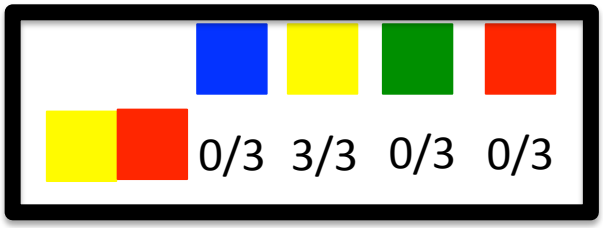


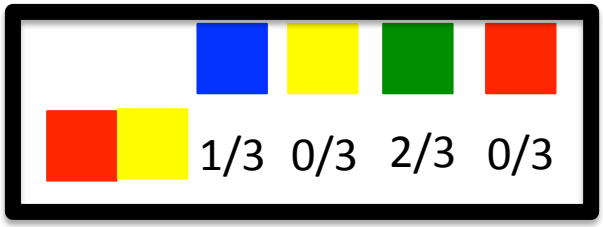
Completăm textura

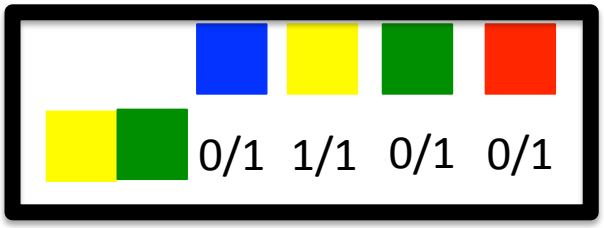
Completăm textura pixel cu pixel după următoarea regulă: observăm cei doi vecini din stânga (contează ordinea) si apoi selectăm un pixel din distribuția condiționată (fără să o updatăm).

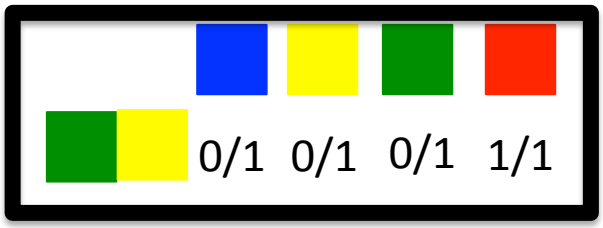


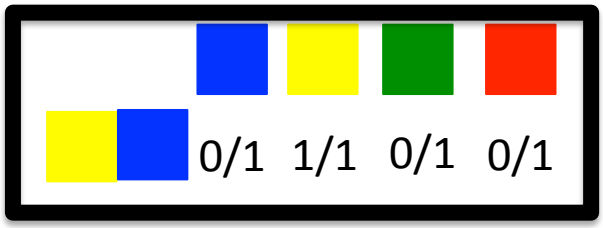












Lanțuri Markov

Lanț Markov:

- o secvență de variabile aleatoare **x_1, x_2, …, x_n**
- **x_t** reprezintă **starea** modelului la momentul t

- **Ipoteza de bază**: fiecare stare x_t depinde numai de starea precedentă x_{t-1}
  - dependența este dată de o **probabilitate condiționată:**

$$p(\mathbf{x}_t|\mathbf{x}_{t-1})$$

- Exemplul de mai sus: lanț Markov de ordinul 1
- Lanț Markov de ordinul N:

$$p(\mathbf{x}_t|\mathbf{x}_{t-1},\ldots,\mathbf{x}_{t-N})$$

Slide adaptat după K. Grauman

Câmp Markov aleator

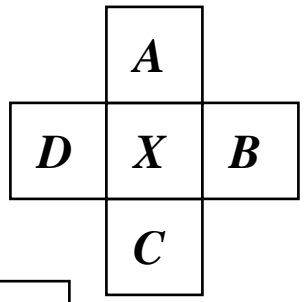
Câmp Markov aleator

- Generalizare a lanțurilor Markov în 2 sau mai multe dimensiuni

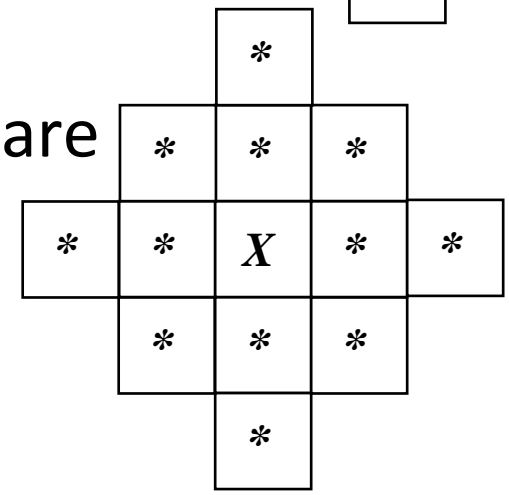
Câmpuri Markov aleatoare de ordinul 1:

- probabilitatea ca un pixel *X* ia o anumită valoare depinde de valorile pixelilor vecini *A*, *B*, *C*, si *D*:

$$P(\mathbf{X}|\mathbf{A},\mathbf{B},\mathbf{C},\mathbf{D})$$



Câmpuri Markov aleatoare de ordin superior



Slide adaptat după K. Grauman

Generarea texturii

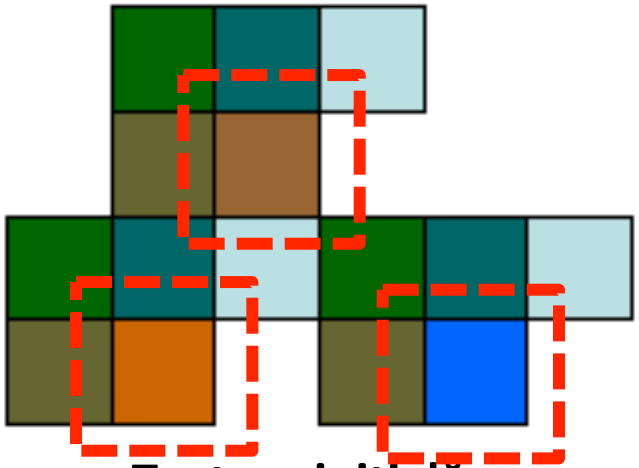
Textură inițială

Textură generată

Alexei A. Efros and Thomas K. Leung, "Texture Synthesis by Non-parametric Sampling," ICCV, 1999.

Generarea texturii – intuiție

Inserăm pixeli cu o anumită intensitate pe baza valorilor pixelilor vecini



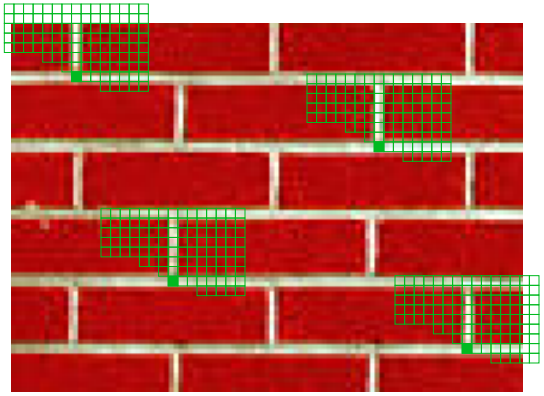
Textura inițială

Vrem să inserăm un nou pixel aici

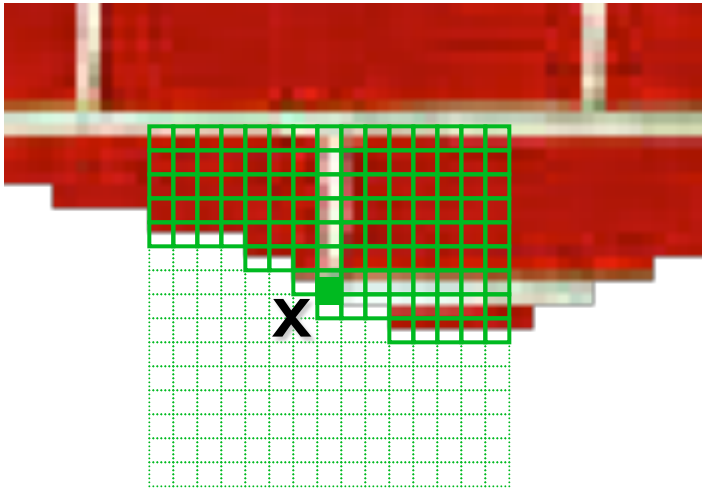
Distribuția intensității unui pixel este condiționată de vecinii lui (pentru acest exemplu).

Slide adaptat după A. Efros

Generarea unui singur pixel



Textura inițială

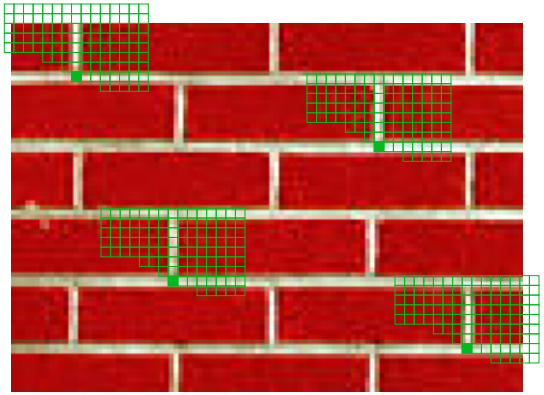


Imagine generată

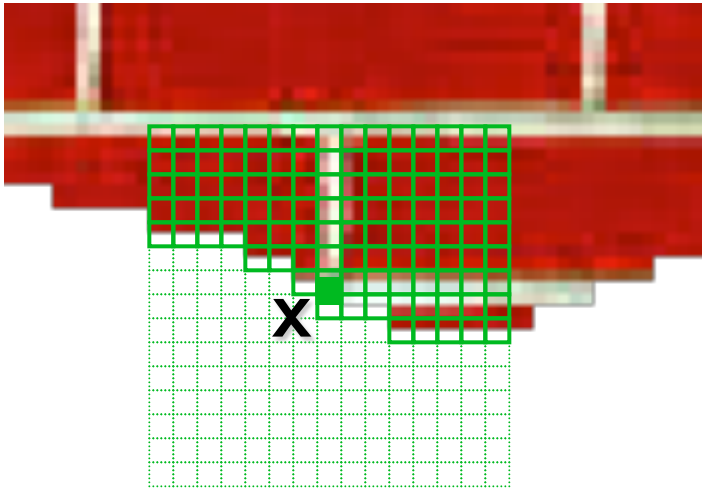
- Care este P(x|vecinătatea lui x)?
- Găseşte toate ferestrele din textura inițială care seamănă perfect cu vecinătatea lui x
- Pentru a genera **x**
  - alege aleator o fereastă din cele găsite
  - valoarea lui **x** = valoarea pixelului central al ferestrei

Slide adaptat după A. Efros

Generarea unui singur pixel



Textura inițială



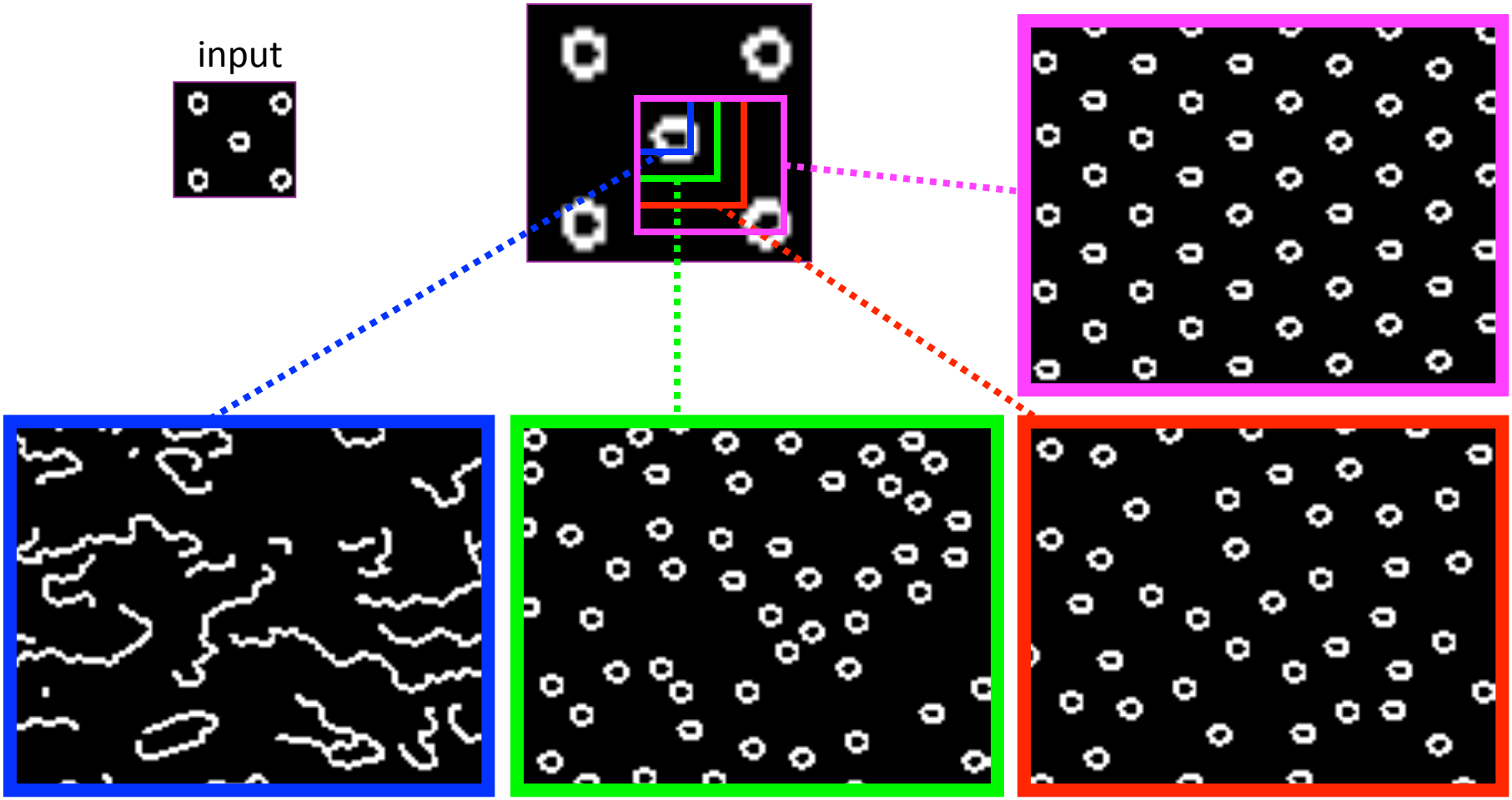
Imagine generată

- E posibil să nu existe nicio fereastră care seamănă perfect cu vecinătatea lui x.
- Găseşte cele mai apropiate ferestre pe baza unei distanțe (suma pătratelor distanțelor) si alege una din aceste ferestre pe baza distanței
- Transformă distanța în probabilitate astfel încât:

  distanțe mari = prob. mică, distanțe mici = prob. mare

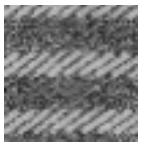
Slide adaptat după A. Efros

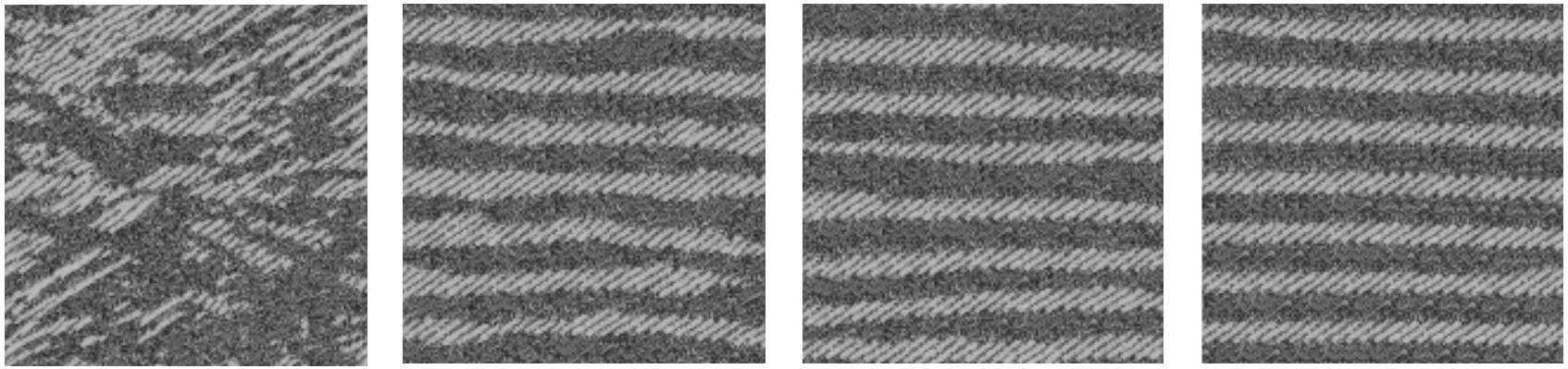
Dimensiunea ferestrei vecinătății

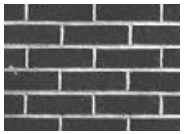


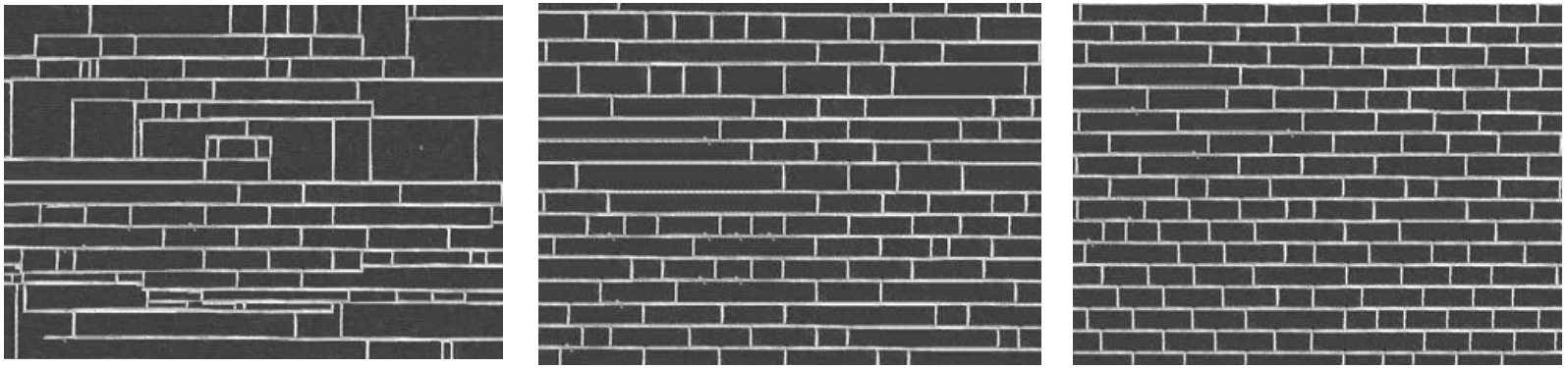
Slide adaptat după A. Efros

Dimensiunea ferestrei vecinătății





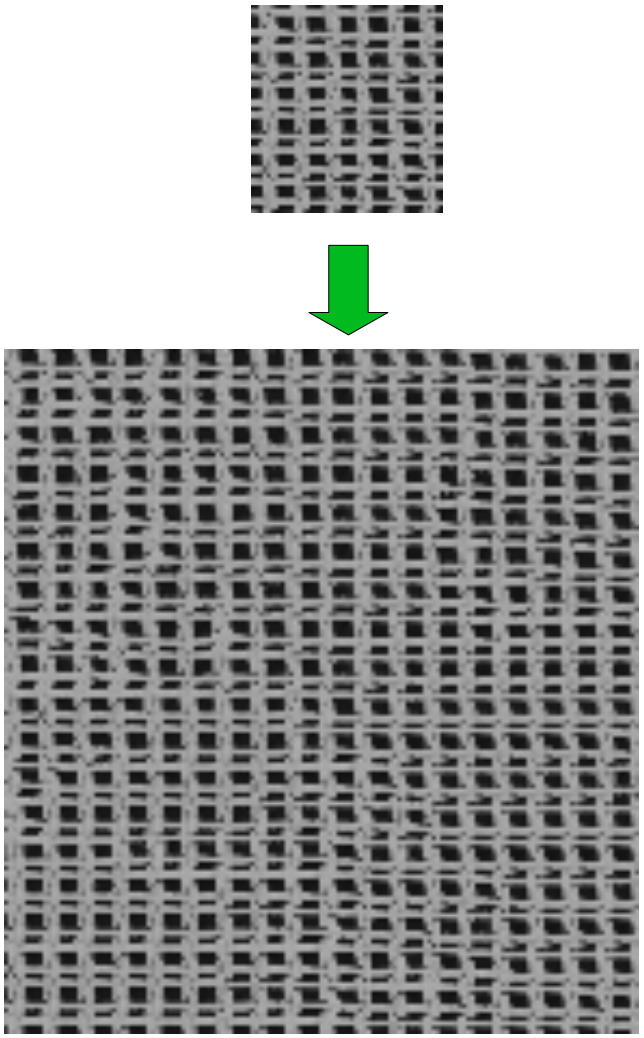


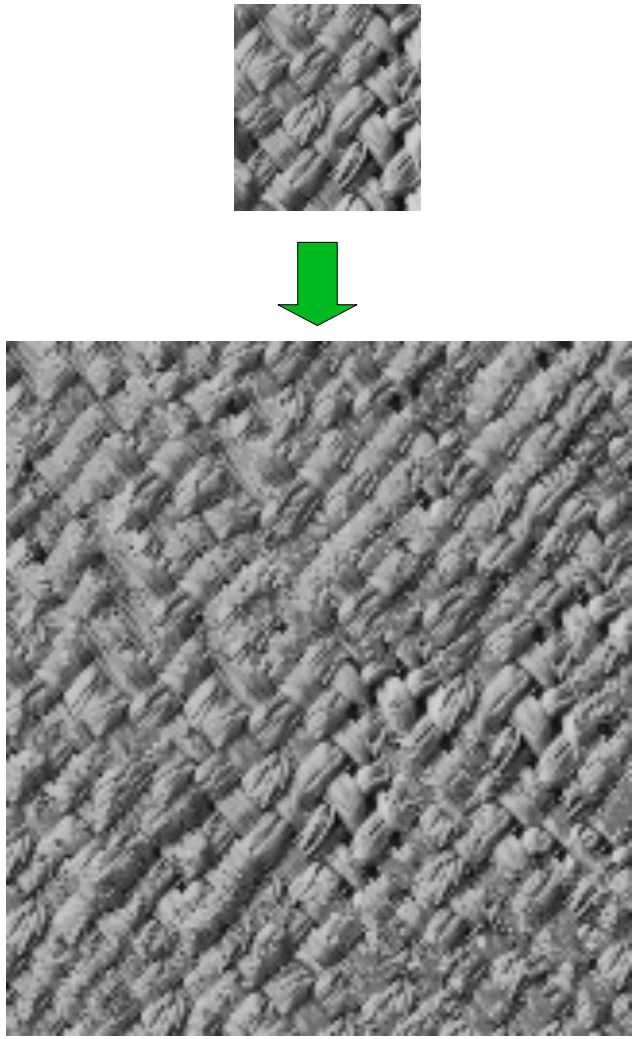


Creştem dimensiunea ferestrei

Slide adaptat după A. Efros

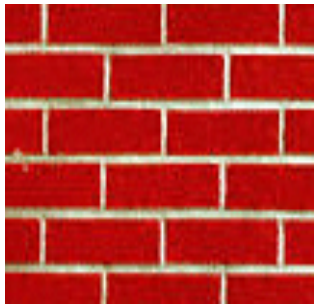
Generarea texturii - rezultate

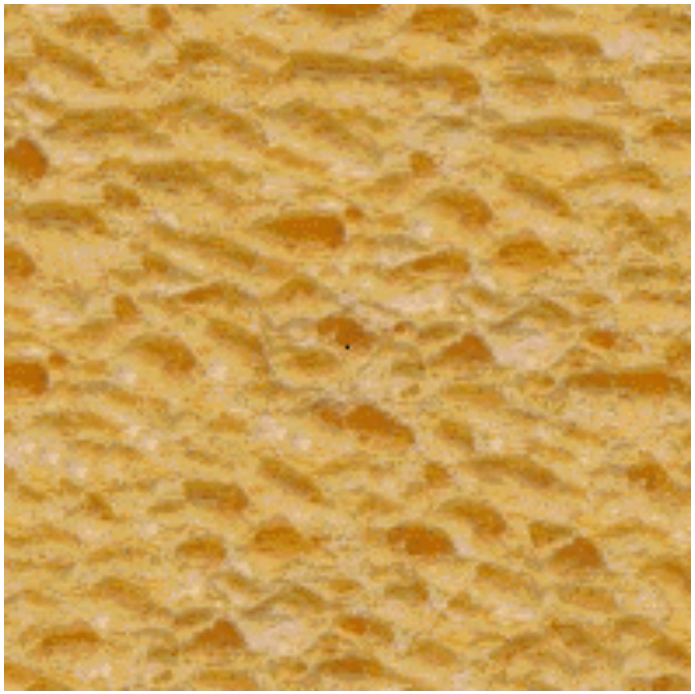


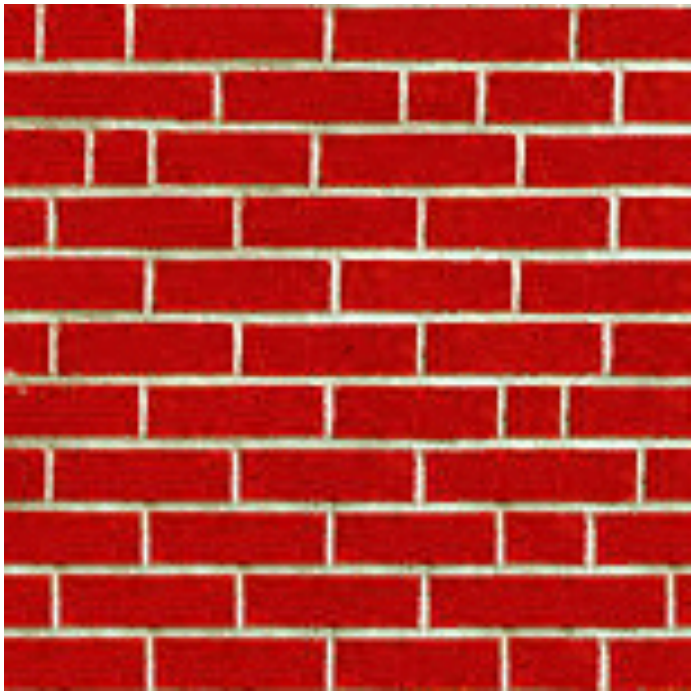


Slide adaptat după A. Efros

Generarea texturii - rezultate

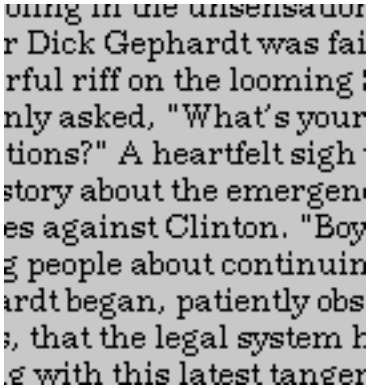


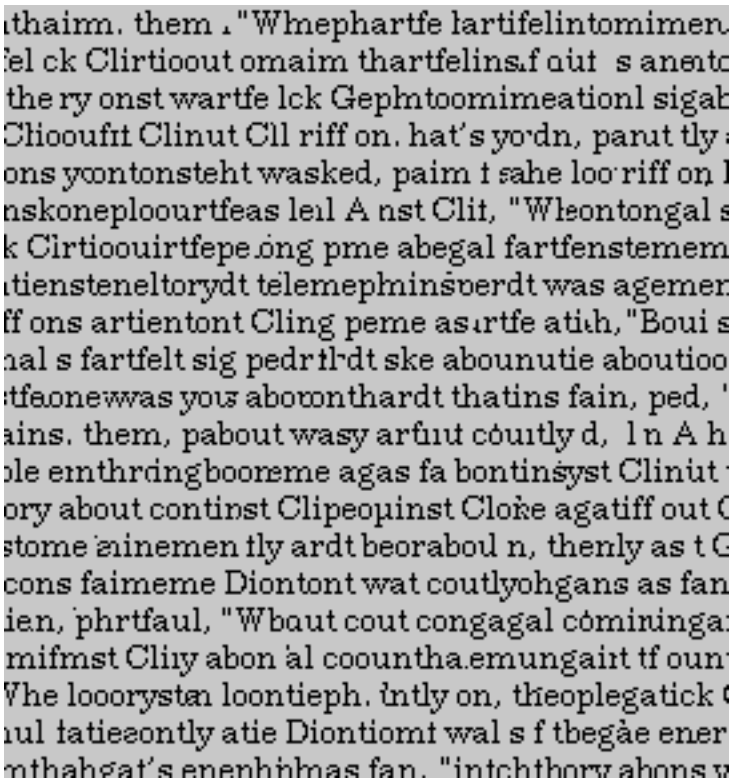




Slide adaptat după A. Efros

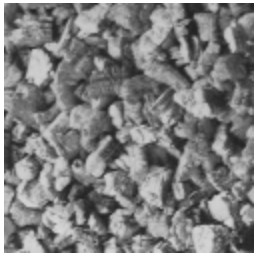
Generarea texturii - rezultate

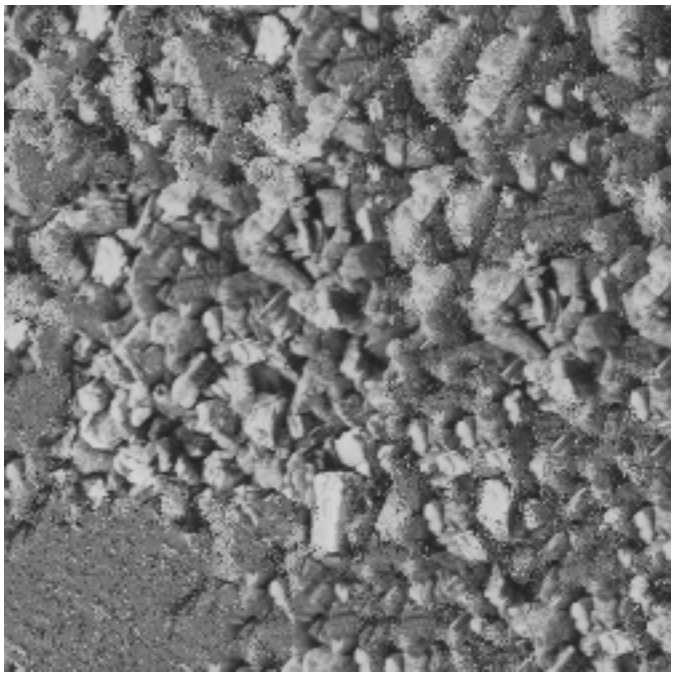




Slide adaptat după A. Efros

Cazuri nereuşite



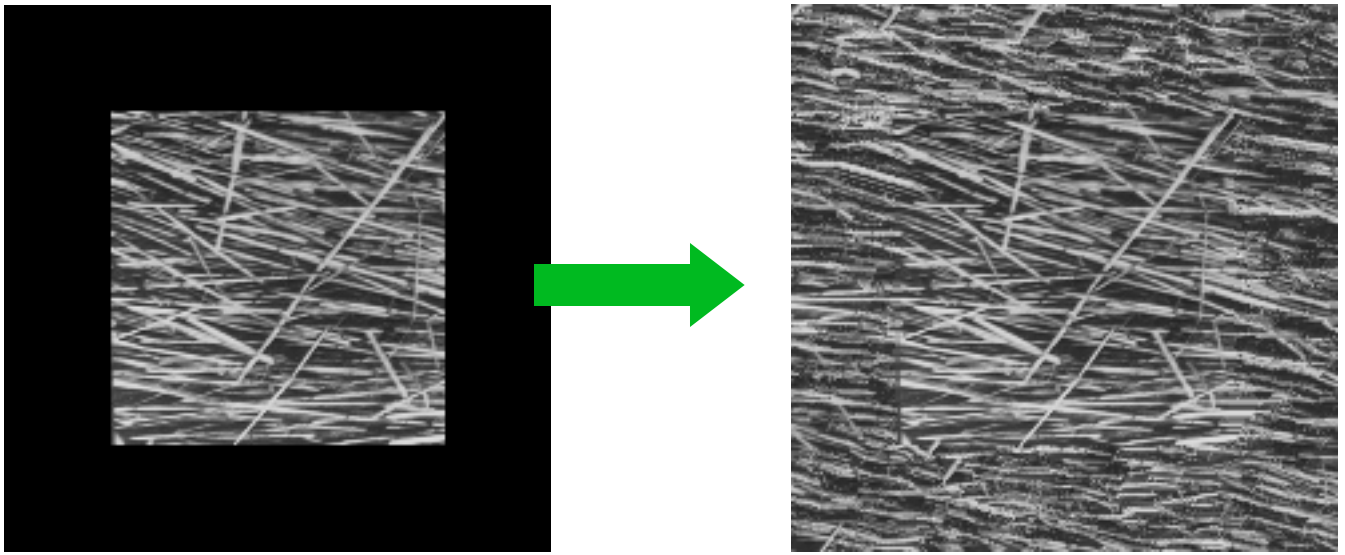


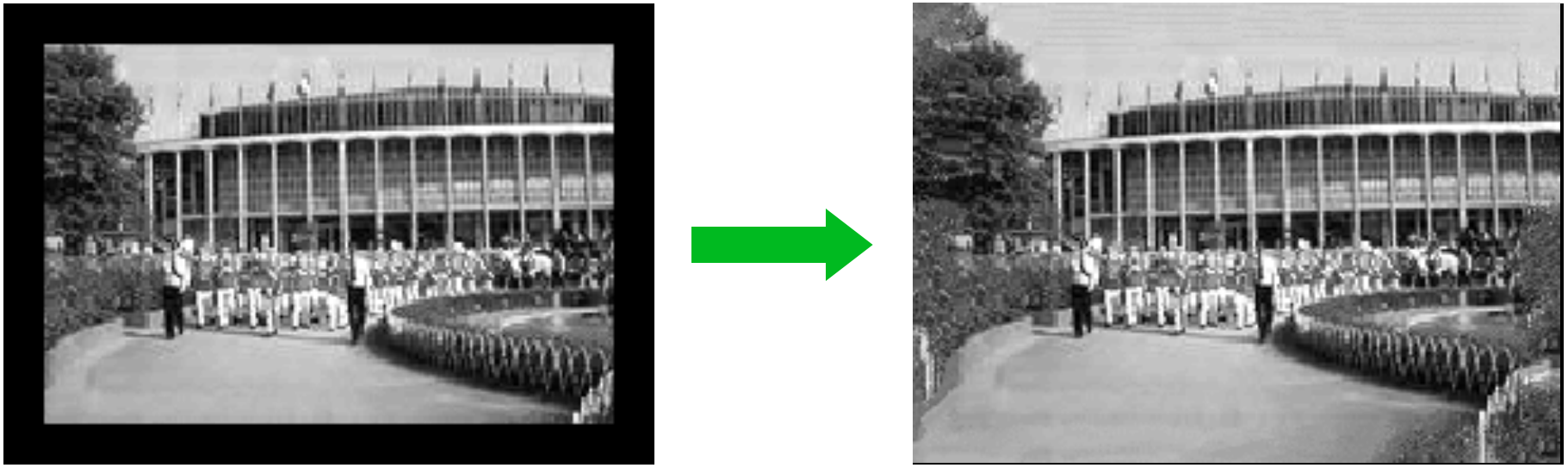
texteli care nu sunt
În textura inițială

Copiază

Slide adaptat după A. Efros

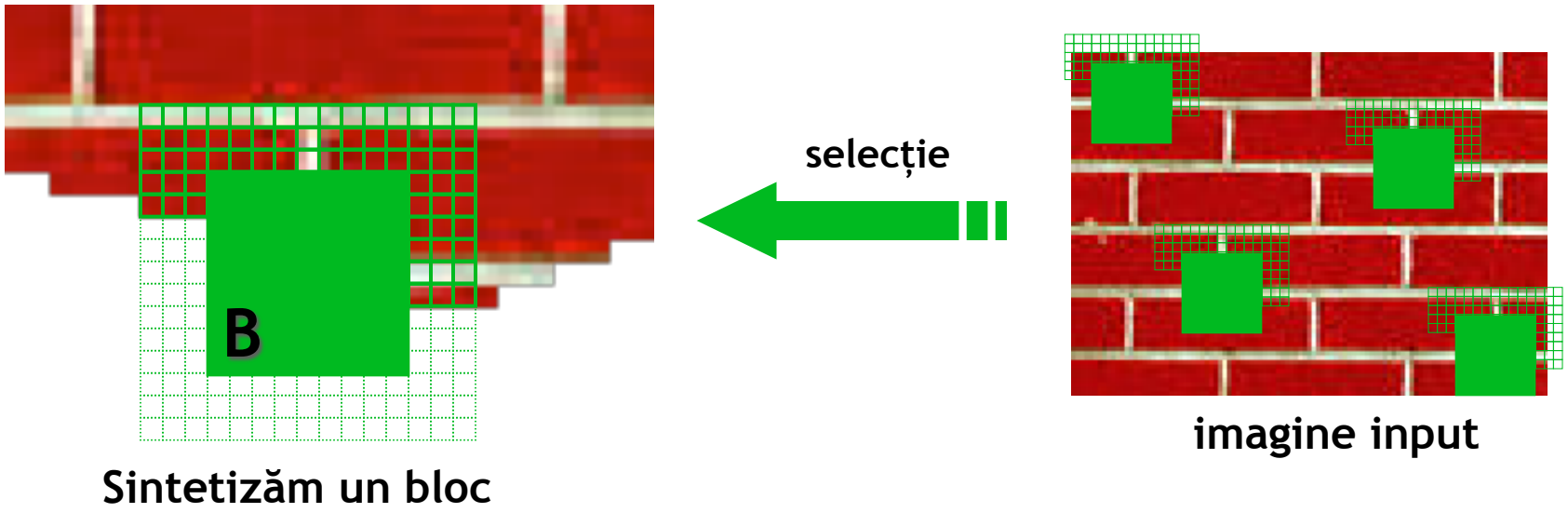
Extrapolare





Slide adaptat după A. Efros

Generarea texturii la nivel de blocuri



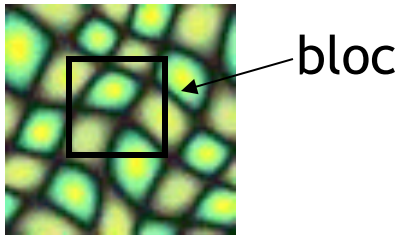
- Observație: pixelii vecini sunt foarte corelați

Idee: unitate de sinteză = bloc de pixeli

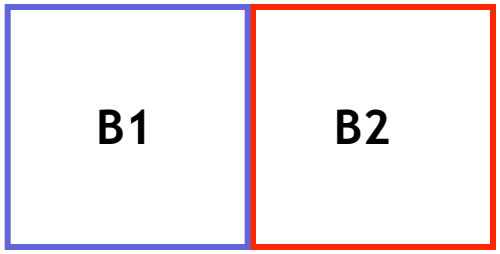
- Înlocuim un pixel cu un bloc : P(**B**|Vecinătate(**B**))
- Mult mai rapid: sintetizăm toți pixelii dintr-un bloc odată

A. E. Efros. W. T. Freeman: Image Quilting for Texture synthesis and Transfer, SIGGRAPH 2001
http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/papers/efros-siggraph01.pdf

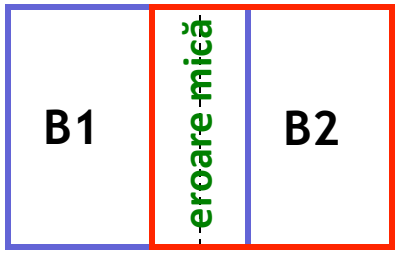
Slide adaptat după A. Efros



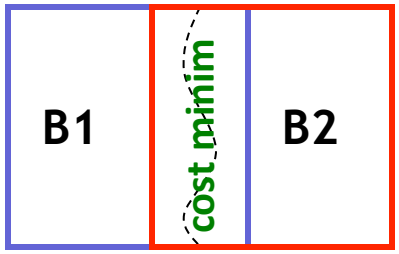
textură



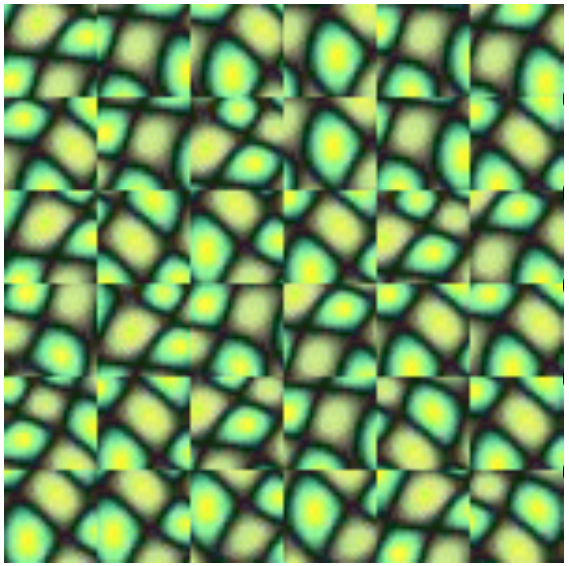
blocuri aleatoare din textură
puse unele lângă altele

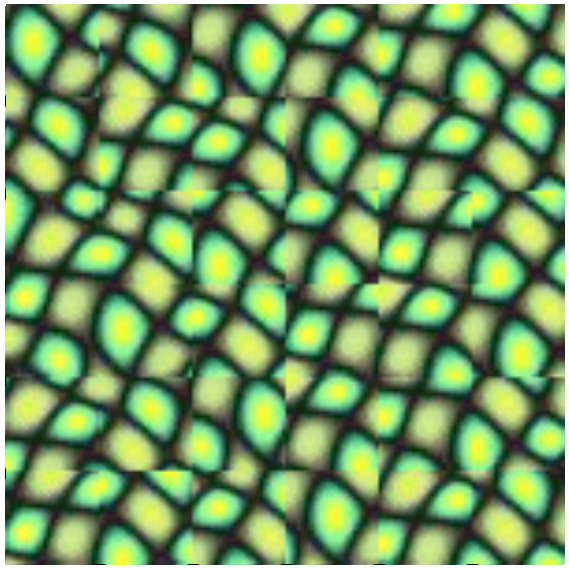


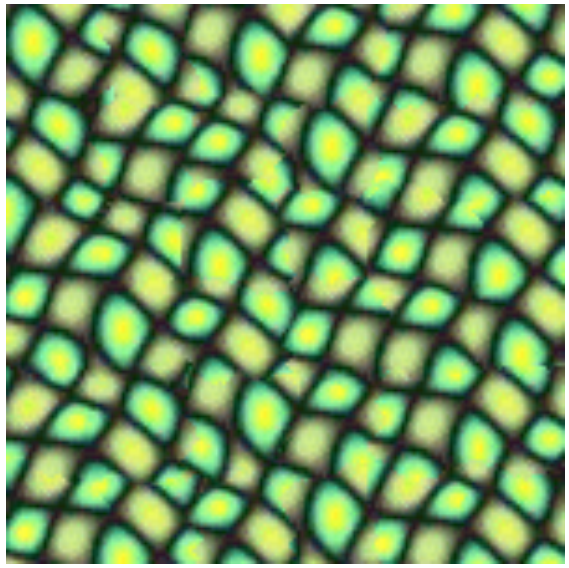
blocuri aleatoare din textură
care se suprapun la frontieră



blocuri aleatoare din textură
care se suprapun la frontieră
frontiera de cost minim



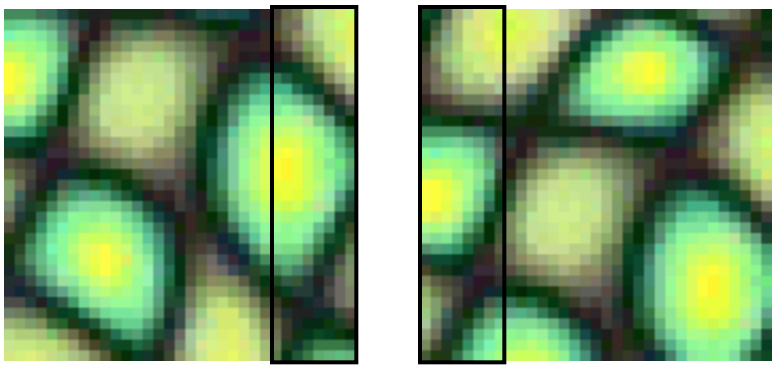




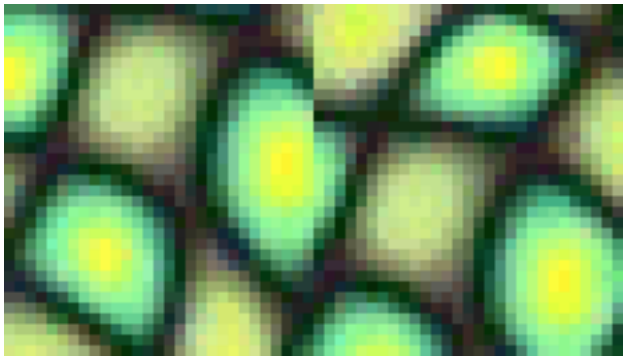
Slide adaptat după A. Efros

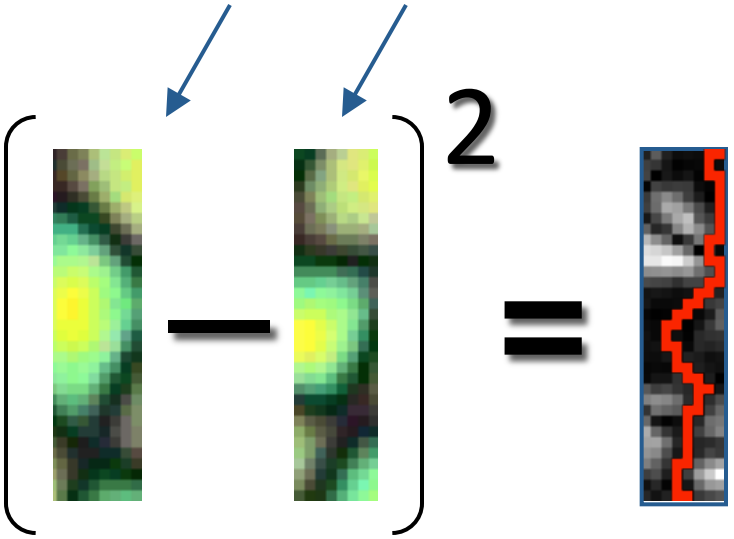
Frontiera de eroare minimă

blocuri care se suprapun

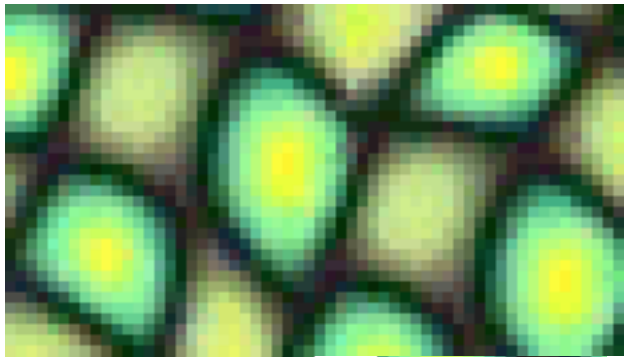


muchie/frontieră verticală





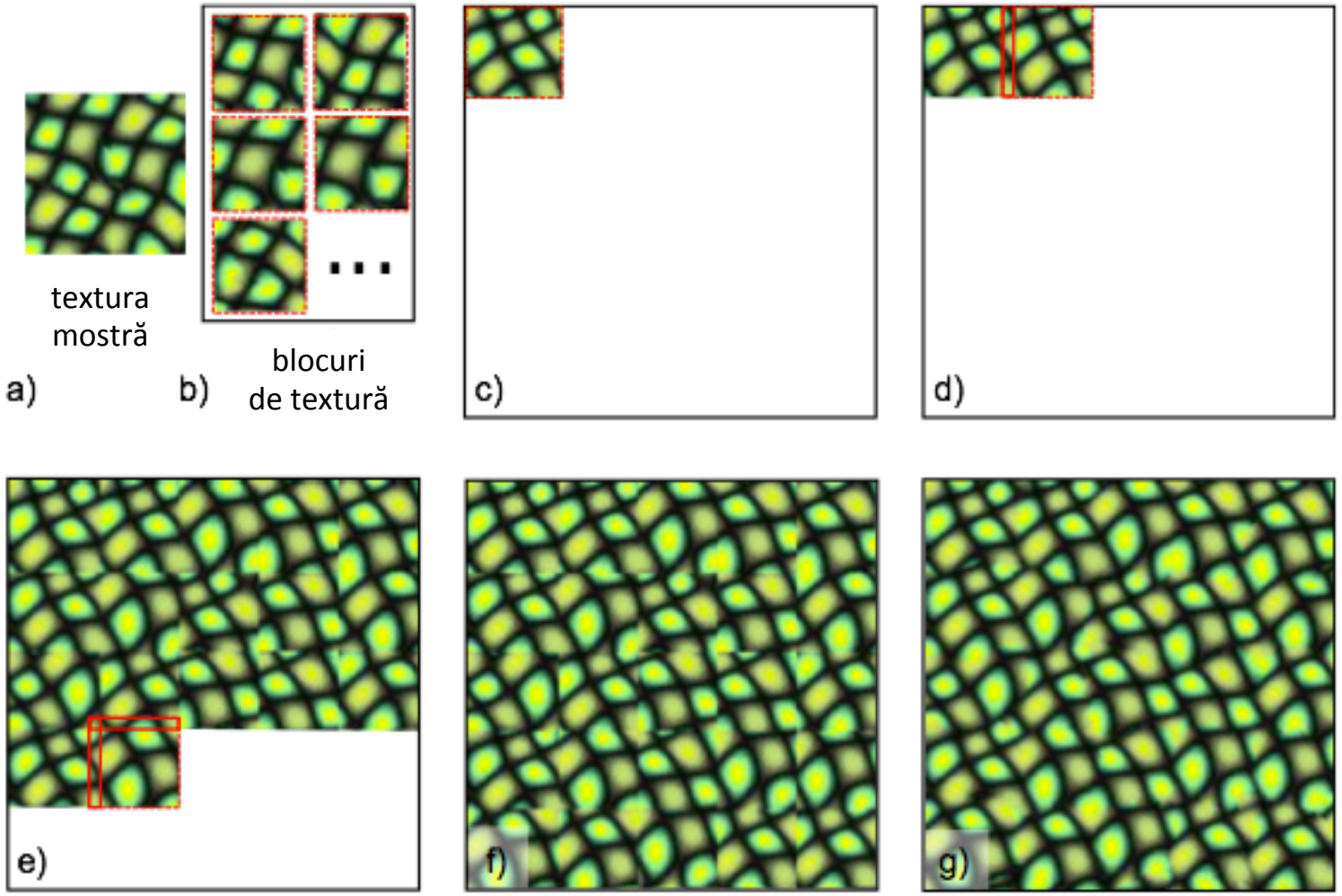
eroarea de suprapunere



frontiera de eroare minimă

Slide adaptat după A. Efros

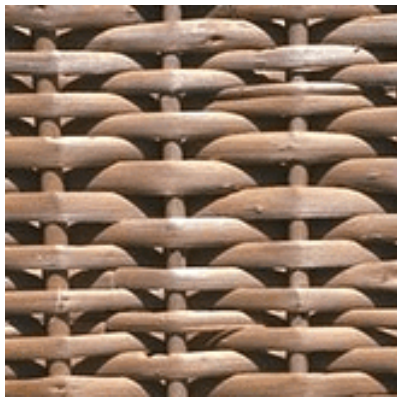
Sinteza texturii la nivel de blocuri - algoritm

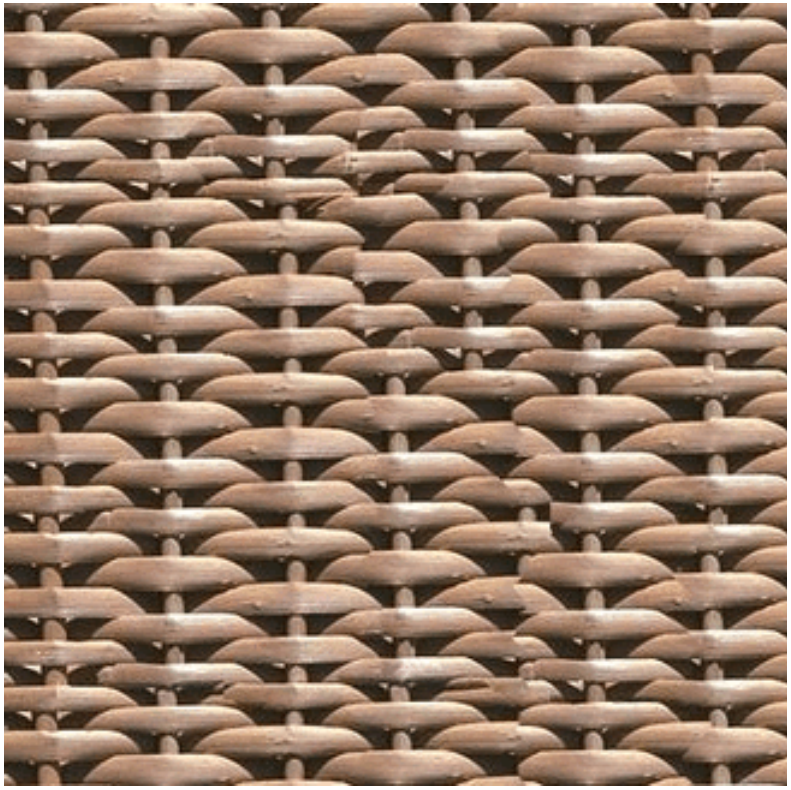


http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/papers/efros-siggraph01.pdf

Slide adaptat după A. Efros

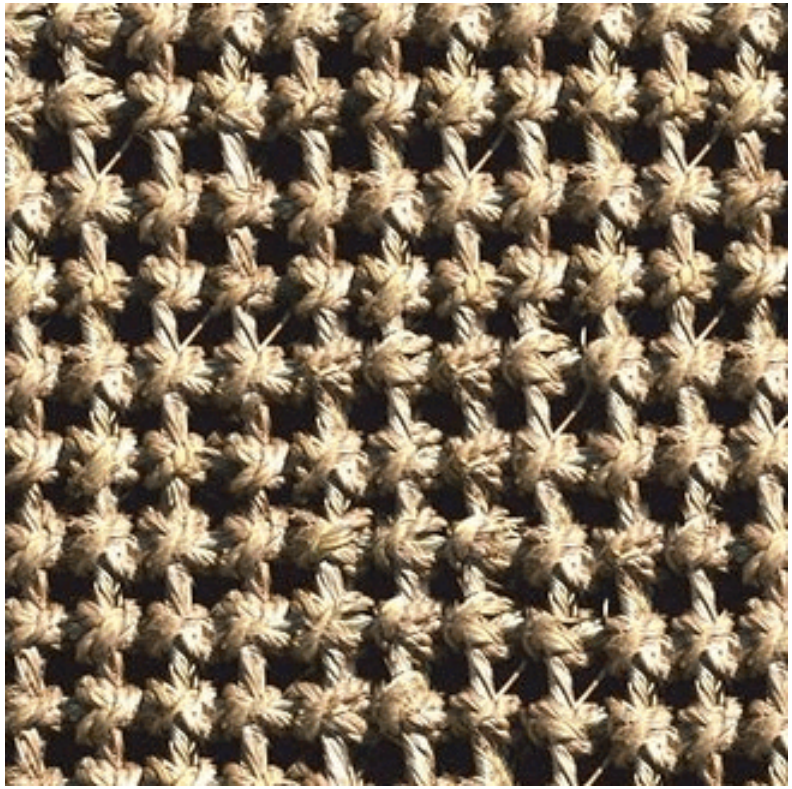
Rezultate





Slide adaptat după A. Efros

Rezultate



Slide adaptat după A. Efros

Rezultate

Slide adaptat după A. Efros

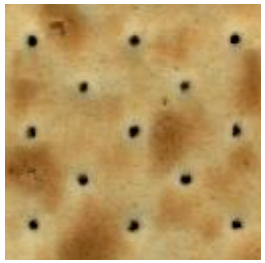
Rezultate

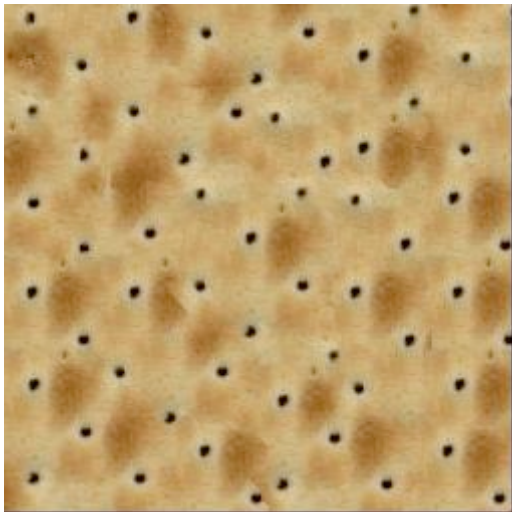
Slide adaptat după A. Efros

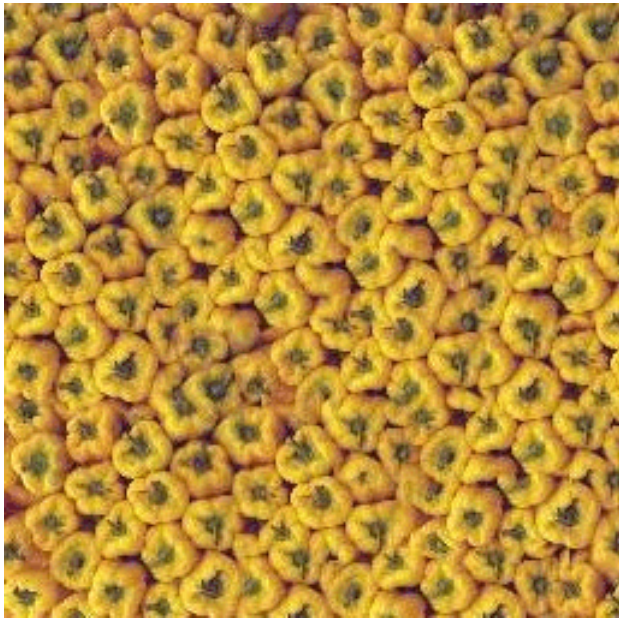
Rezultate

Slide adaptat după A. Efros

Rezultate





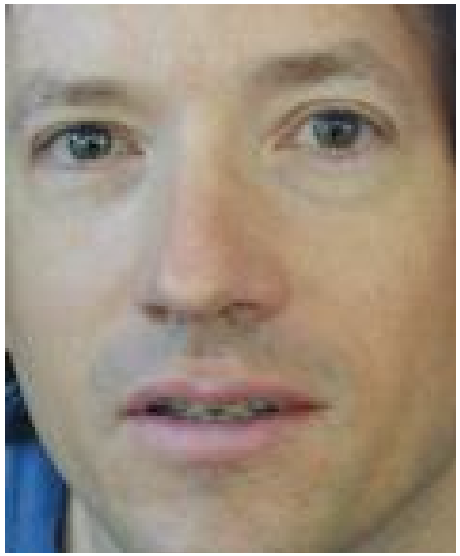


Slide adaptat după A. Efros

Mai puțin reușite

Slide adaptat după A. Efros

Transferul texturii



+

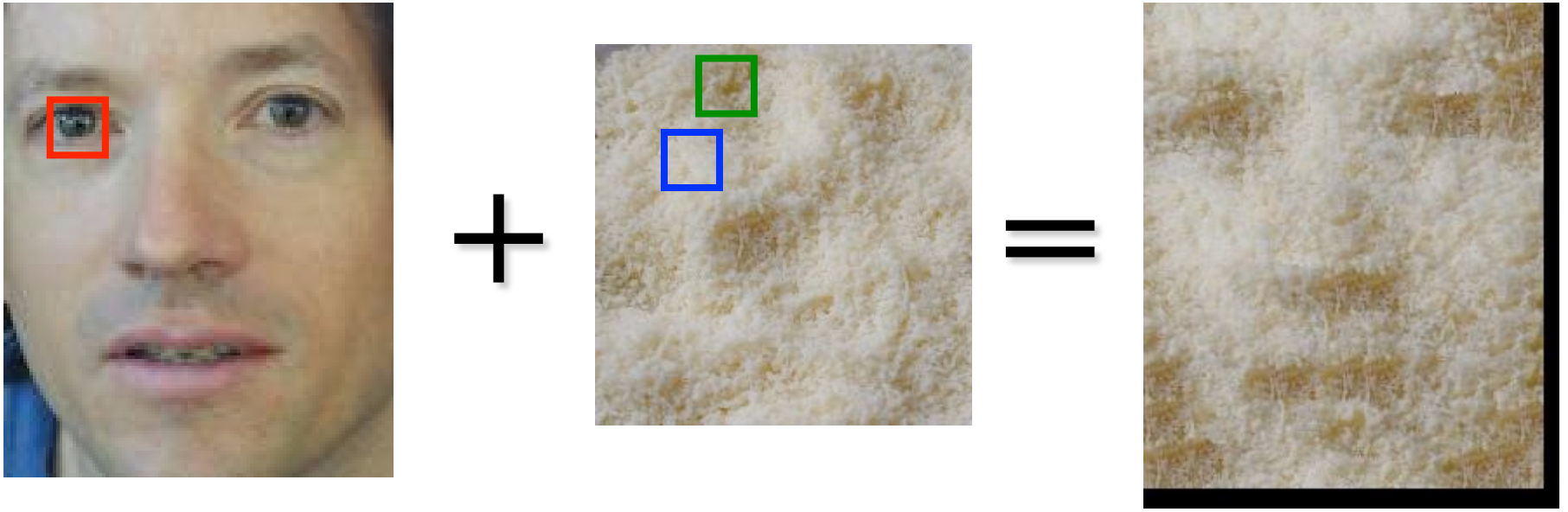
orez

=

Slide adaptat după A. Efros

Transferul texturii

- Transferăm textura unui obiect la un alt obiect



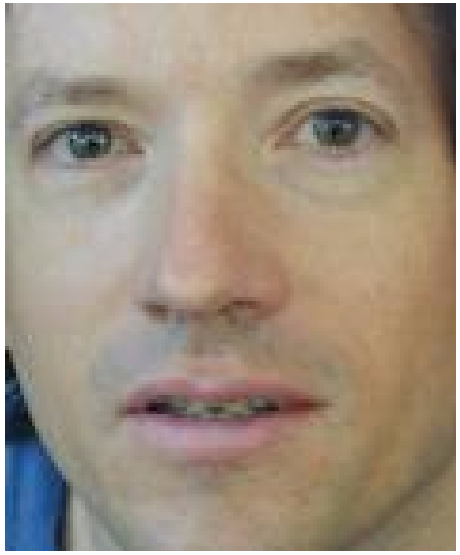
- Adăugăm un nou termen: similaritatea dintre blocul de textură si blocul din imagine
- Spre exemplu similaritate în termeni de intensitate

Slide adaptat după A. Efros

parmezan

+

=

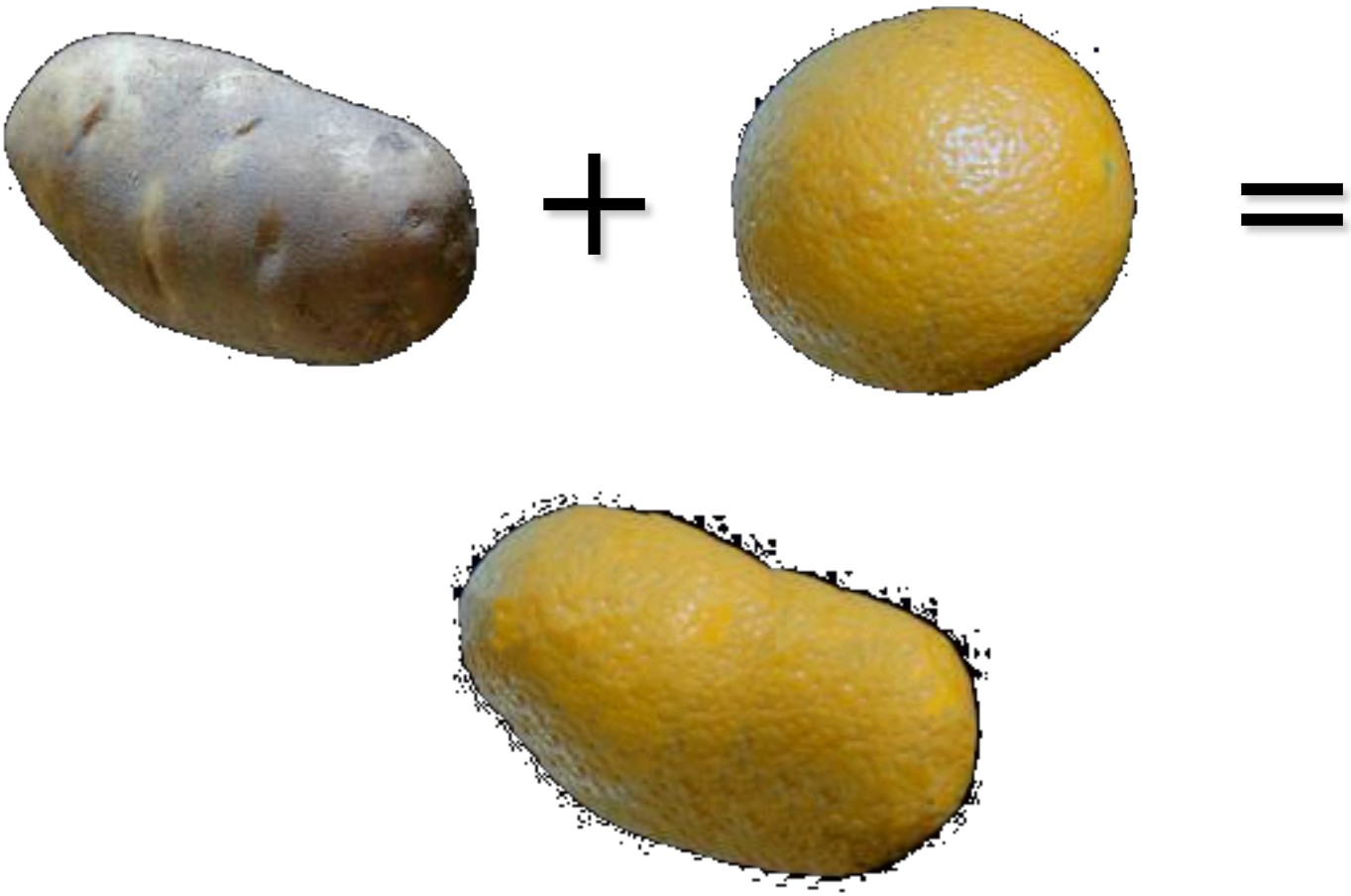


orez

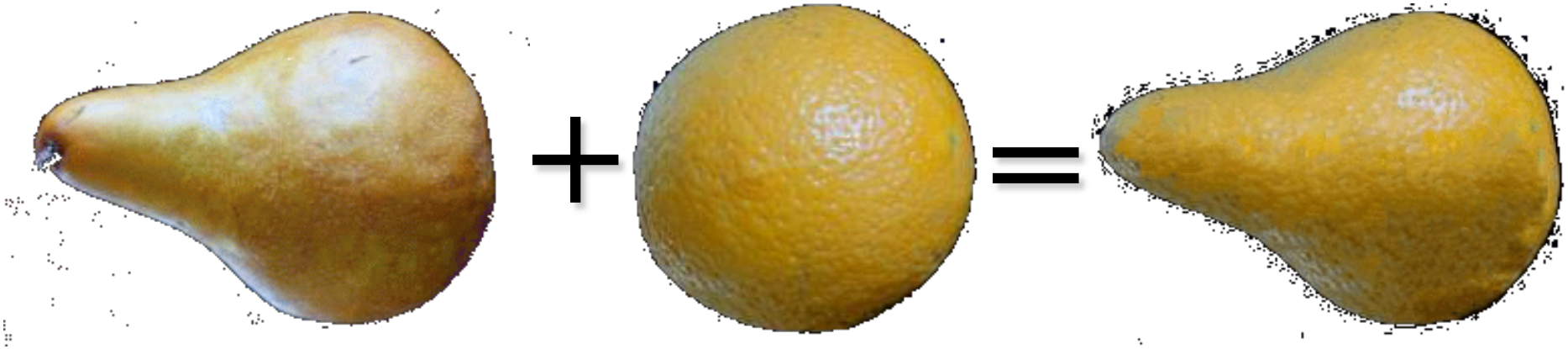
+

=

Slide adaptat după A. Efros



Slide adaptat după A. Efros



Slide adaptat după A. Efros

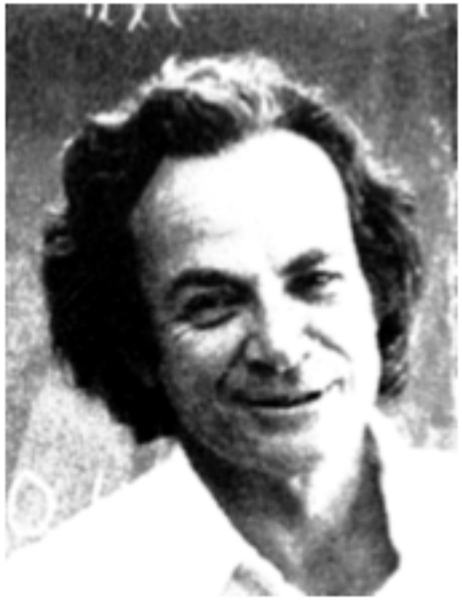
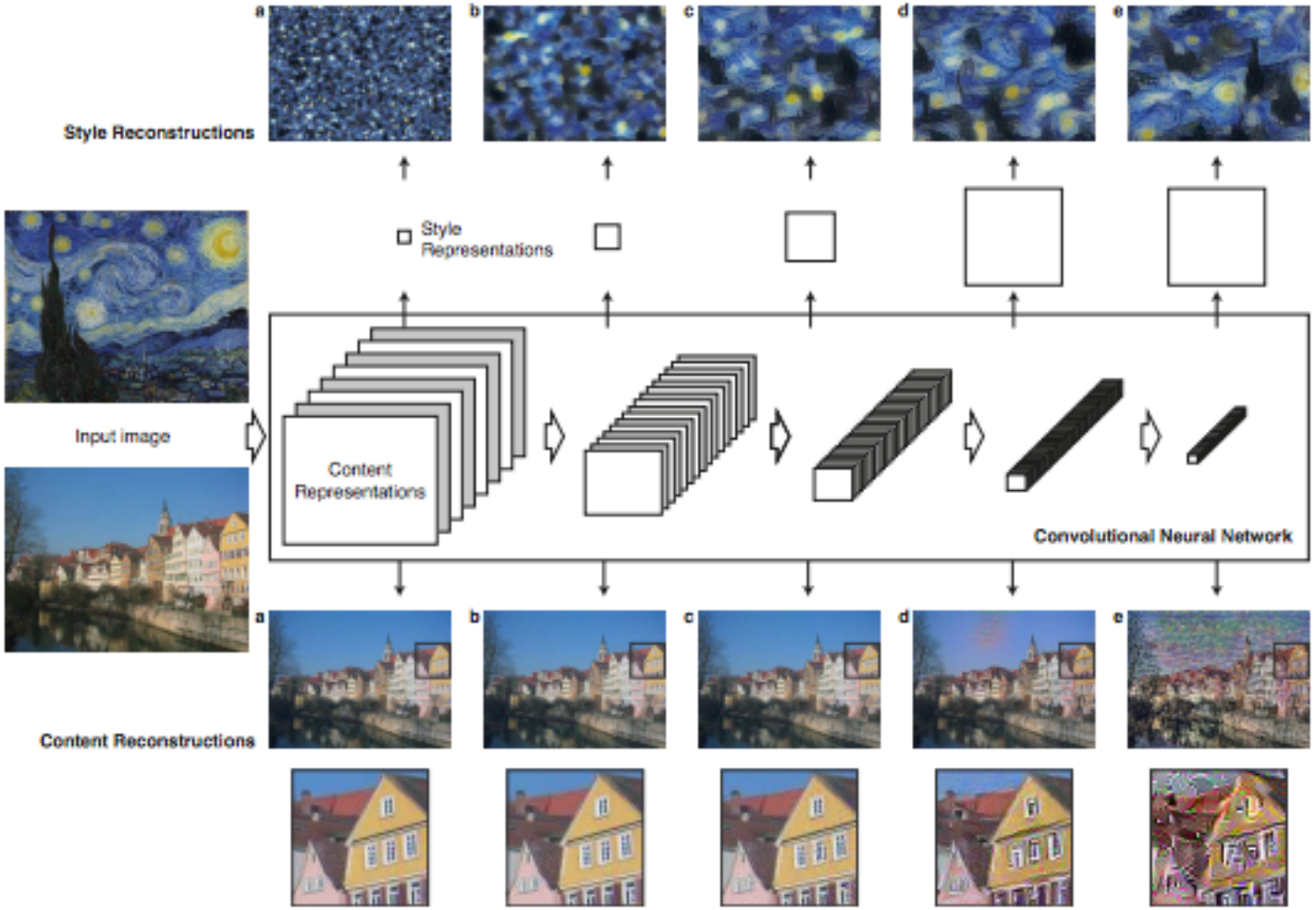


Image style transfer

L. A. Gatys, A. S. Ecker, M. Bethge: Texture Syntesis using Convolutional Neural Networks, CVPR 2016
L. A. Gatys, A. S. Ecker, M. Bethge Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks, CVPR 2016
J. Johnson, A. Alahi, L. Fei-Fei. Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution, ECCV 2016

Neural image style transfer



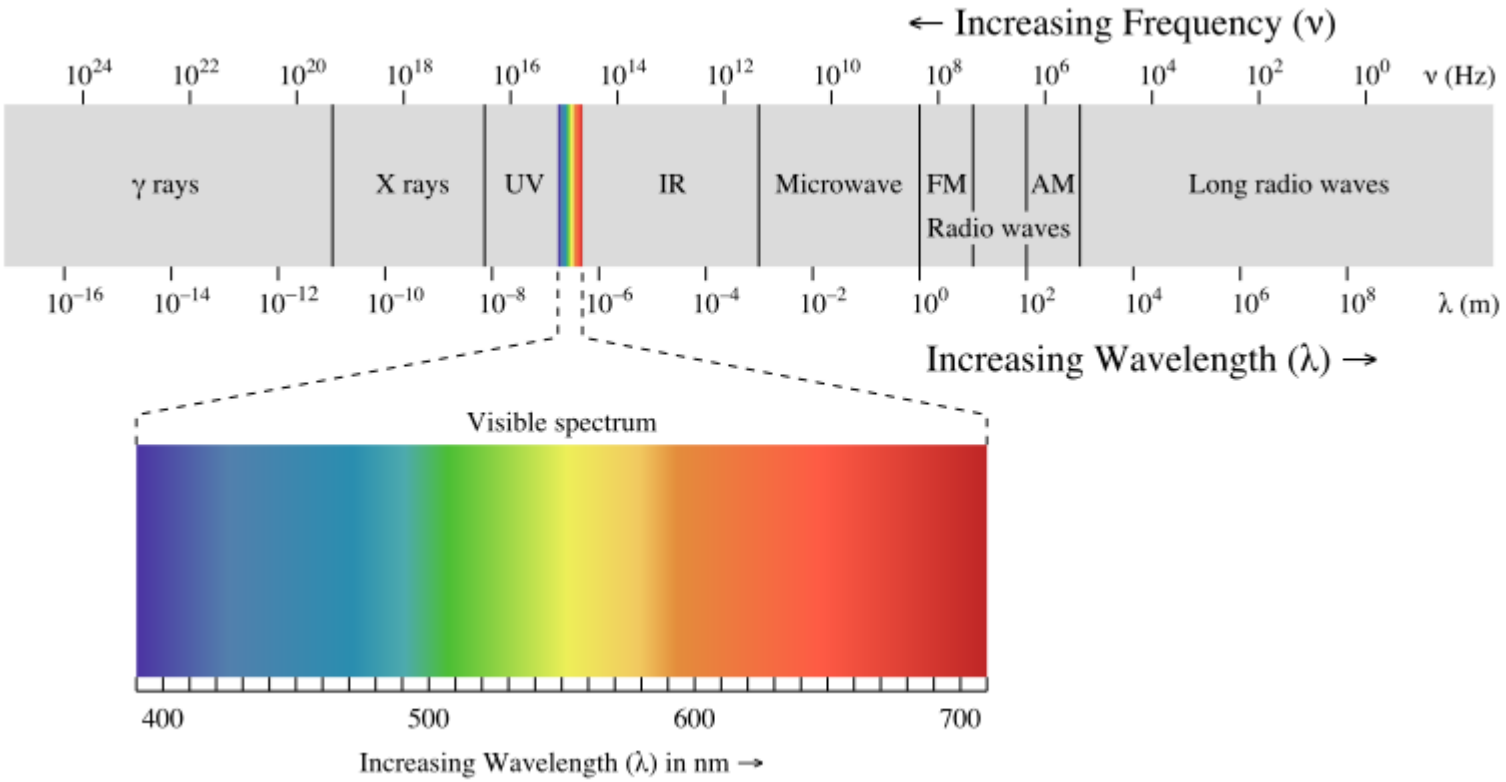
L. A. Gatys, A. S. Ecker, M. Bethge: Texture Syntesis using Convolutional Neural Networks, CVPR 2016
L. A. Gatys, A. S. Ecker, M. Bethge Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks, CVPR 2016
J. Johnson, A. Alahi, L. Fei-Fei. Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution, ECCV 2016

Demo

Culoarea – spații de culori

Culoarea

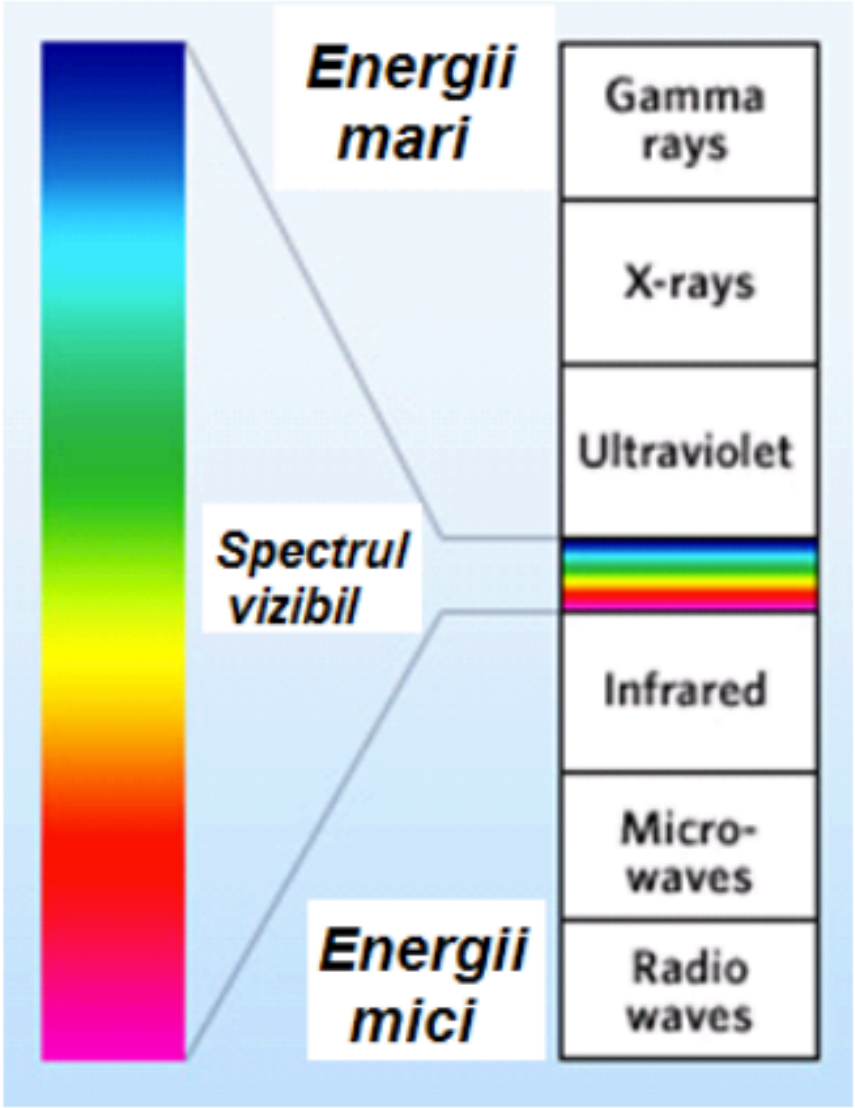
Culoarea = undă electromagnetică detectată de ochi și interpretată de creier. Lumina vizibilă e compusă dintr-o bandă relativ îngustă a spectrului electromagnetic. Spectrul vizibil este în domeniul lunigimilor de undă: 380nm – 780nm.



Spectrul undelor electromagnetice

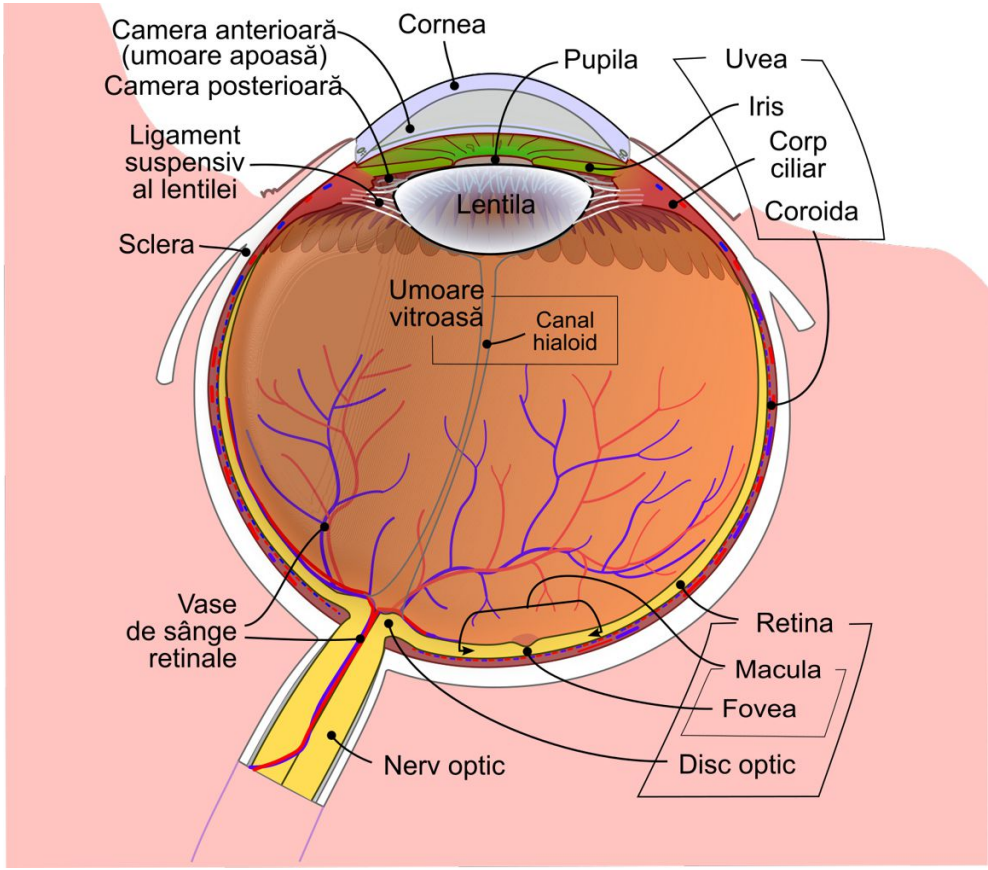
► In functie de frecventa sau lungimea de unda, undele electromagnetice sunt clasificate în:

- ►Radiatii gama
- ►Raze X
- ►Radiatii ultraviolete
- ►Radiatii vizibile
- ► Radiatii infrarosii
- ► Microunde
- ► Unde radio



Ochiul uman

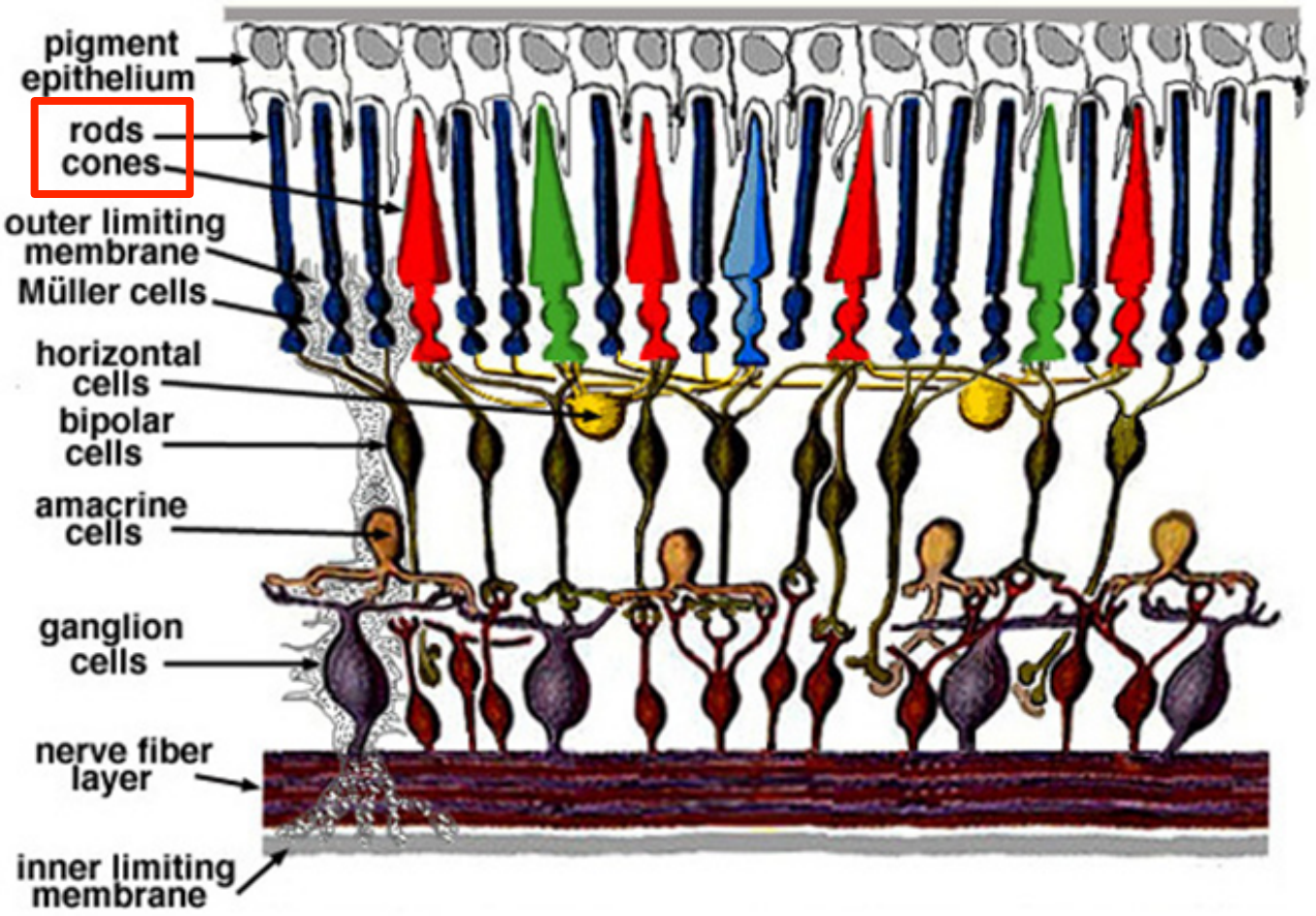
Vederea – proces complex: ochiul uman absoarbe lumina din mediul înconjurător și o proiectează pe cornee. Rezultă o imagine inițială. Fiecare ochi trimite această imagine prin intermediul nervului optic la creier, care o prelucrează și rezultă ceea ce noi numim vedere. Lumina stă la baza a tot ceea ce vedem.



Pentru a vedea un obiect, pe acesta trebuie să cadă lumină. Această lumină se refectă de pe obiect și este percepută de aparatul vizual. Razele de lumină pătrund prin conjunctivă și corneee, trec prin camera anterioară și pupilă, ajung la cristalim , unde se strâng și se transferă la retina fotosensibilă.

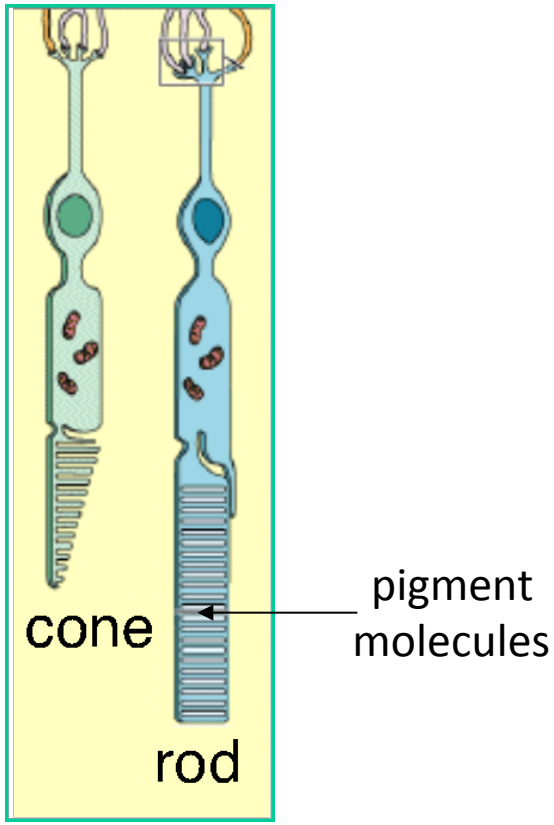
Acolo se adună și se sortează informațiile vizuale: bastonașele sunt responsabile de percepția luminii și a întunericului, iar conurile sunt responsabile de claritatea și percepția culorilor. Aceste informații se transferă la nervul optic, care le duce direct la creier, unde sunt evaluate încă o dată, interpretate și consolidate pentru a forma imaginea pe care o vedem în cele din urmă.

Retina



Simple diagram of the organization of the retina.

Celulele fotoreceptoare



- Conurile
  - responsabile pentru vederea color
  - mai puțin sensibile,
  - îndeosebi ziua
  - vederea centrală
- Bastonașele (Rods)
  - responabile pentru vederea alb-negru (percepție pe bază de intensitate)
  - foarte sensibile, indeosebi noaptea
  - vederea periferică
  - de 20x mai multe decât conurile
- Conurile și bastonașele sunt distribuite neuniform pe retină
  - **Fovea** – regiune mică responsabilă de vederea centrală; conține cea mai mare densitate de conuri – *fără bastonașe*

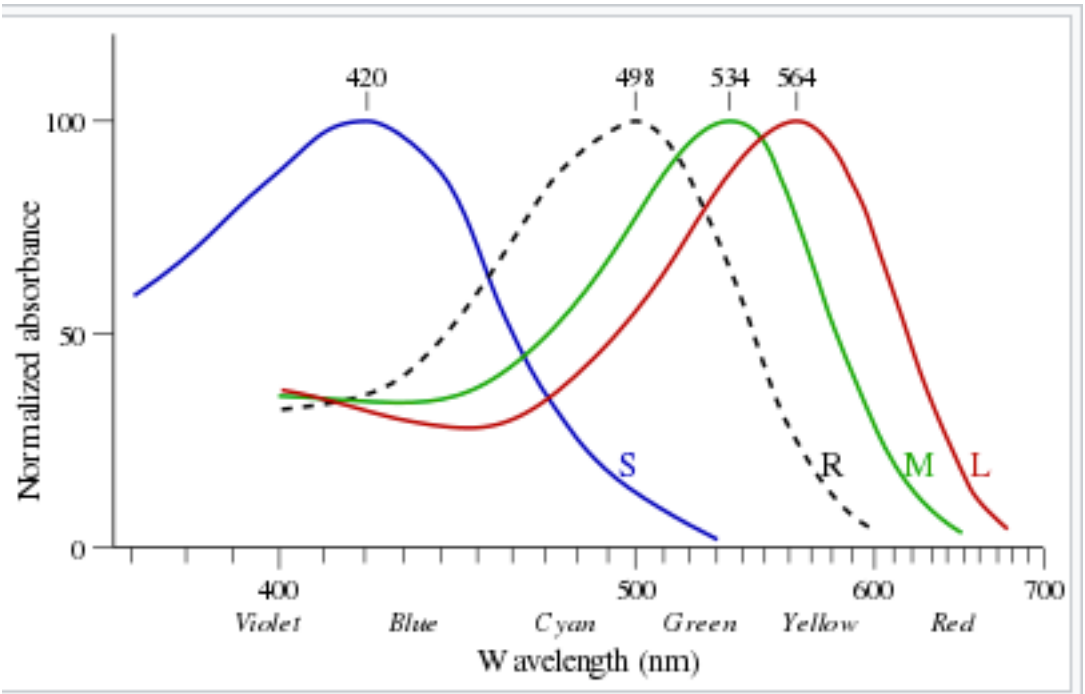
Conurile

Imaginea se formează în ochiul uman pe baza luminii focalizate pe retină de lentila oculară.

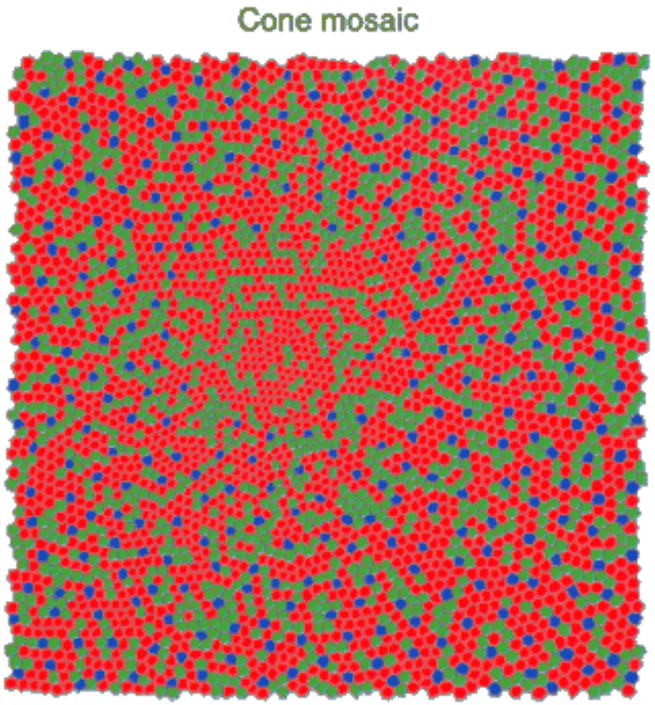
Conurile sunt celule fotoreceptoare responsabile de percepția culorii, conțin pigmenți fotosensibili cu absorbții spectrale diferite.

Există trei tipuri de conuri, sensibile la lungimi de undă mici (short - S), medii (medium-M) și lungi (long-L):

- în jur de 65% din conuri sunt sensibile la lumina roșie
- în jur de 33% din consuri sunt sensibile la lumina verde
- în jur de 2% din conuri sunt sensibile la lumina alabatră



Curbele de sensibilitate ale celor trei tipuri de celule cu conuri (*L*, *M*, *S*) implicate în vederea diurnă și ale celulelor cu bastonașe (*R*) implicate în vederea nocturnă



- Ratio of Long to Medium to Short cones: approx. 10:5:1
- Almost no S cones in the center of the fovea

Există trei tipuri de conuri, sensibile la lungimi de undă mici, medii și lungi:

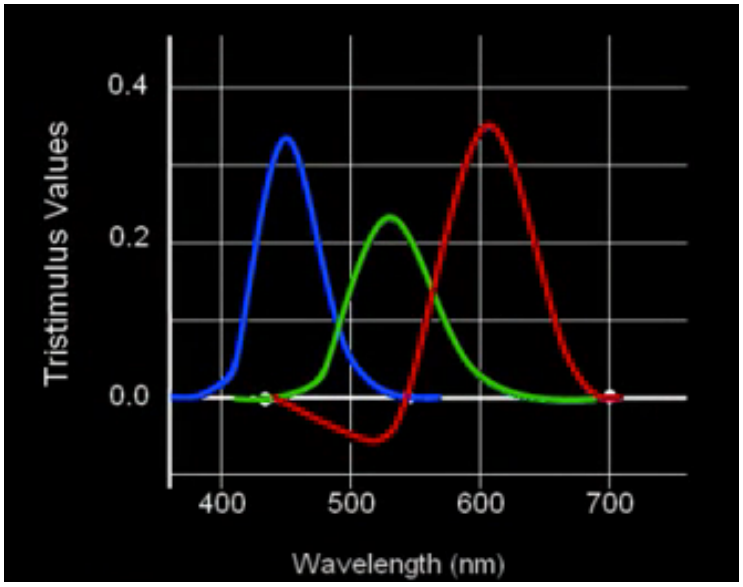
- în jur de 65% din conuri sunt sensibile la lumina roșie
- în jur de 33% din consuri sunt sensibile la lumina verde
- în jur de 2% din conuri sunt sensibile la lumina albastră

Standardul CIE

Datorită caractersiticilor conurilor din ochiul uman, culorile sunt văzute ca diferite combinații ale culorilor primare: roșu, verde și albastru.

CIE (Commision Internationale de l'Eclairage - the International Commision on Illimination) a specificat lungimile de undă corespunzătoare culorilor primare (în anul 1931), înainte de determinarea experimentală a curbelor de absorbtie a luminii de către conuri

Albastru= 435,8 nm
Verde = 546,1 nm
Roșu = 700nm



Teoria tricromacității

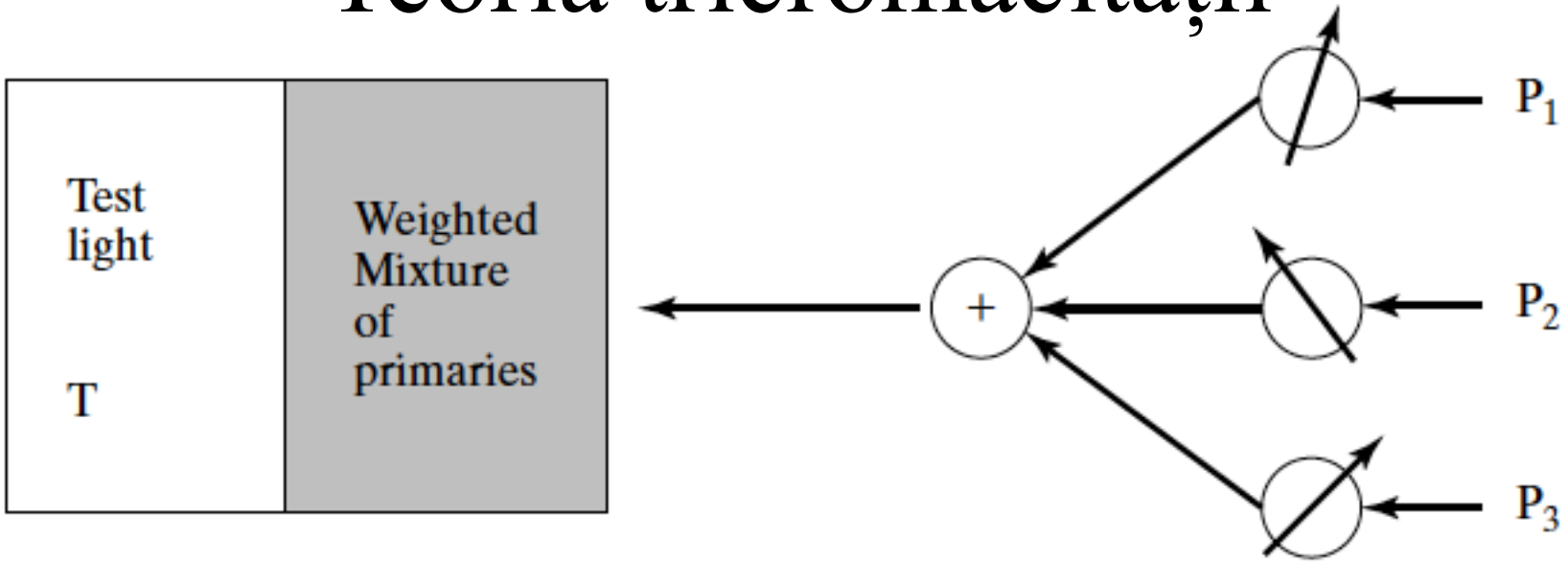
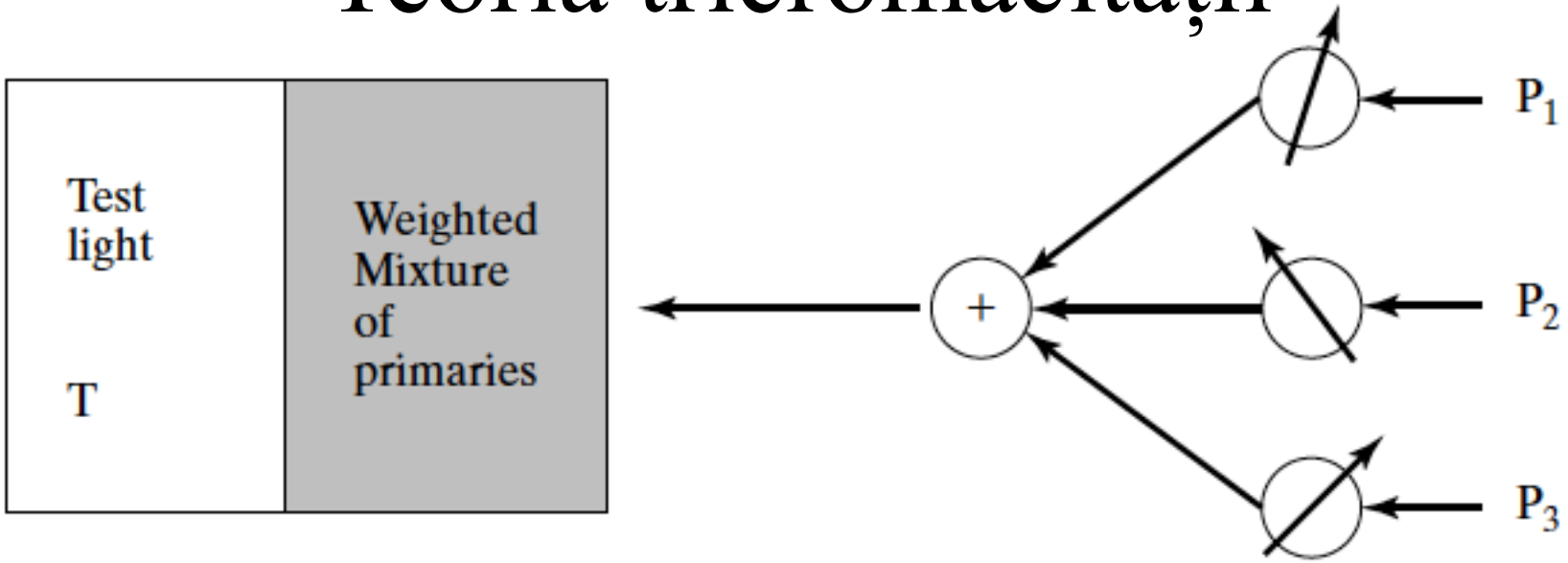


FIGURE 3.2: Human perception of color can be studied by asking observers to mix colored lights to match a test light shown in a split field. The drawing shows the outline of such an experiment. The observer sees a test light T and can adjust the amount of each of three primaries in a mixture displayed next to the test light. The observer is asked to adjust the amounts so that the mixture looks the same as the test light. The mixture of primaries can be written as $w_1P_1 + w_2P_2 + w_3P_3$; if the mixture matches the test light, then we write $T = w_1P_1 + w_2P_2 + w_3P_3$. It is a remarkable fact that for most people three primaries are sufficient to achieve a match for many colors, and three primaries are sufficient for all colors if we allow subtractive matching (i.e., some amount of some of the primaries is mixed with the test light to achieve a match). Some people require fewer primaries. Furthermore, most people choose the same mixture weights to match a given test light.

Teoria tricromacității



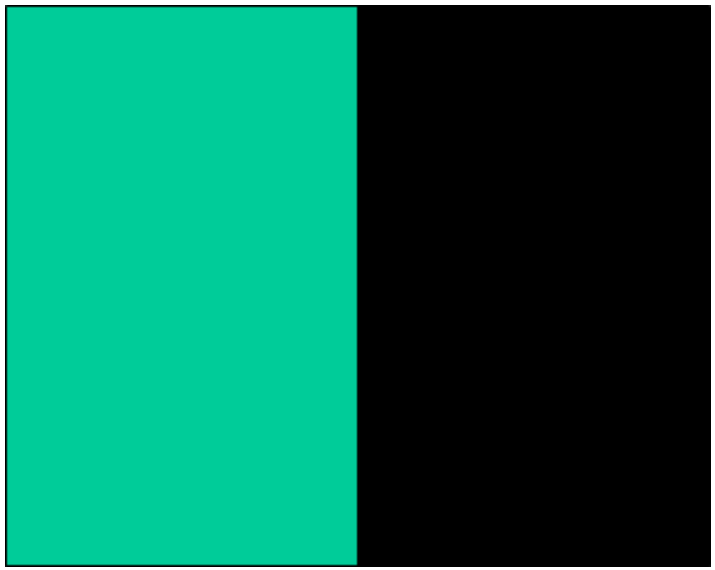
Pornește de la relitatea biologică a sistemului vizual uman, este fundamentată matematic.

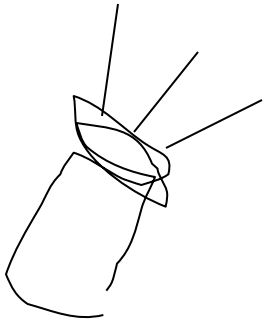
Orice culoare poate fi reprodusă ca amestec (aditiv sau substractiv) a trei culori primare.

O culoare se identifică cu un triplet de numere, corespunzând proiecției spectrului radiației luminoase pe funcțiile caracteristice ale spectrelor primare.

Color matching experiment 1

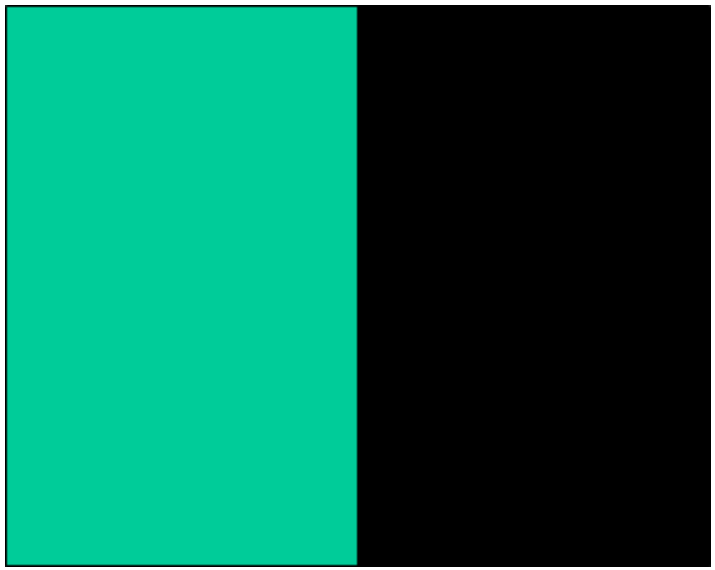
Principalul instrument de analiză a percepției culorii pentru retină și creier.

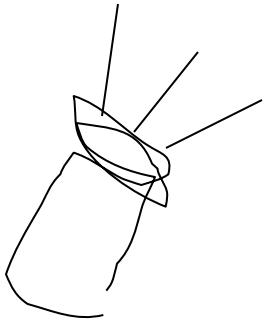




Source: W. Freeman

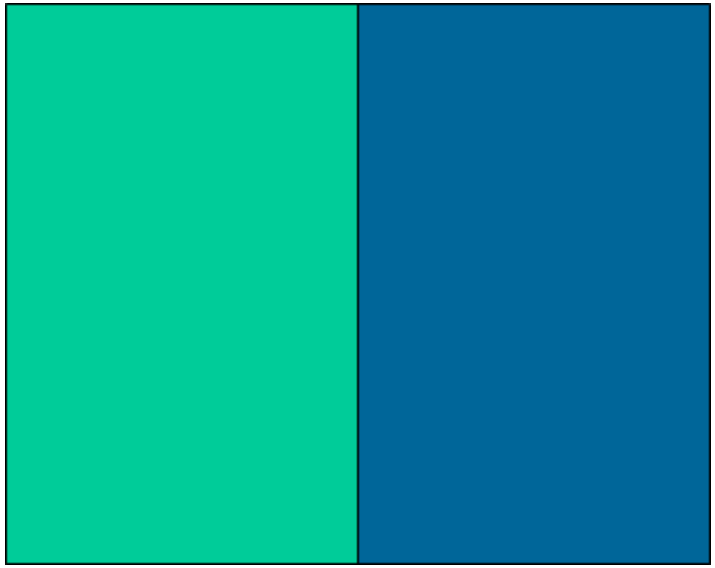
Color matching experiment 1

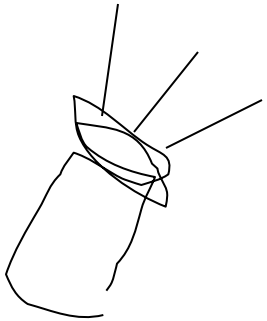


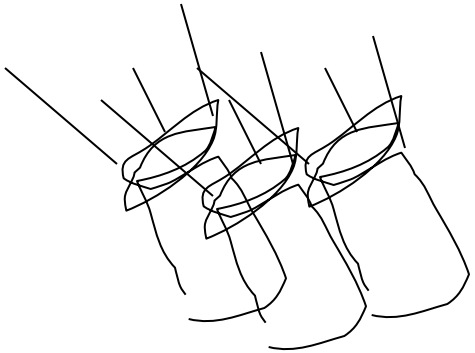


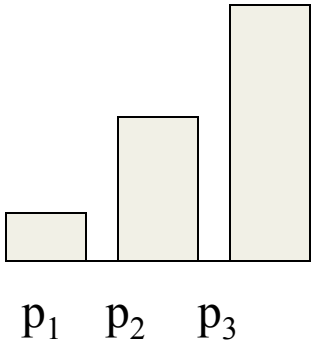
Source: W. Freeman

Color matching experiment 1



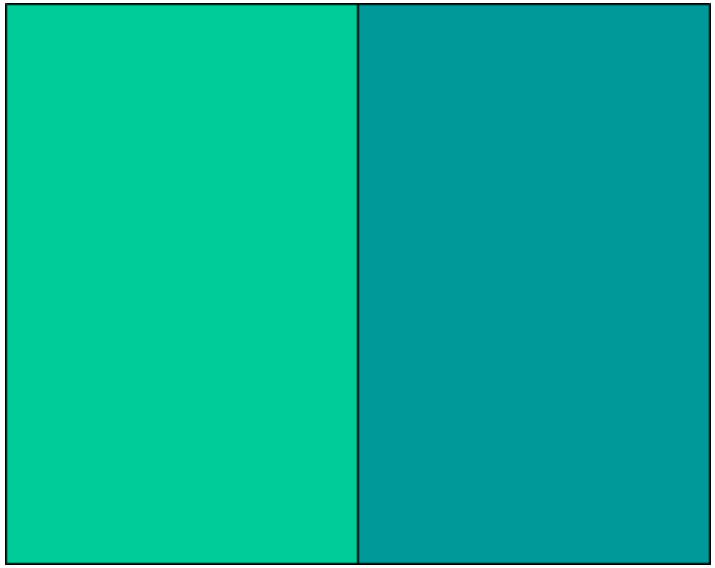


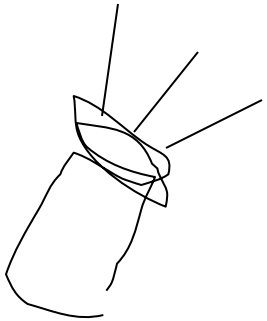


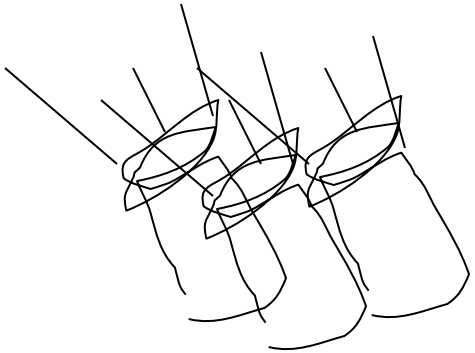


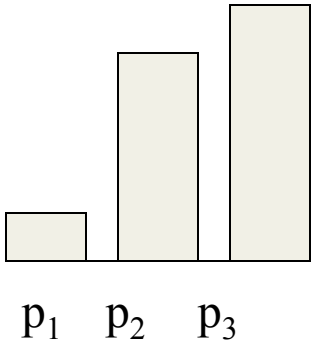
Source: W. Freeman

Color matching experiment 1



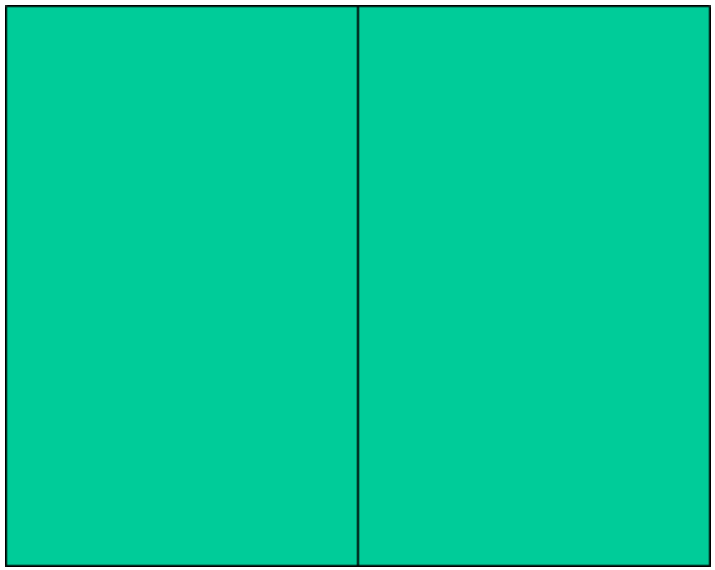




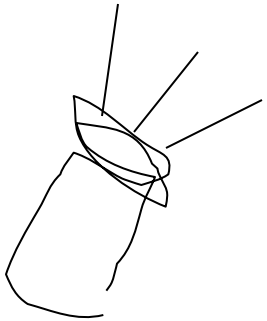


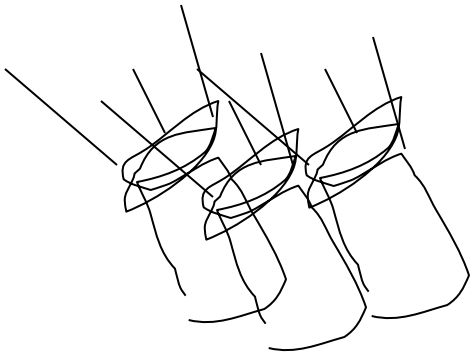
Source: W. Freeman

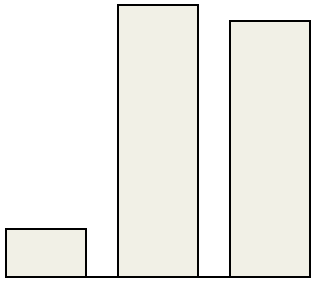
Color matching experiment 1



Ponderile culorilor primare pentru realizarea de match

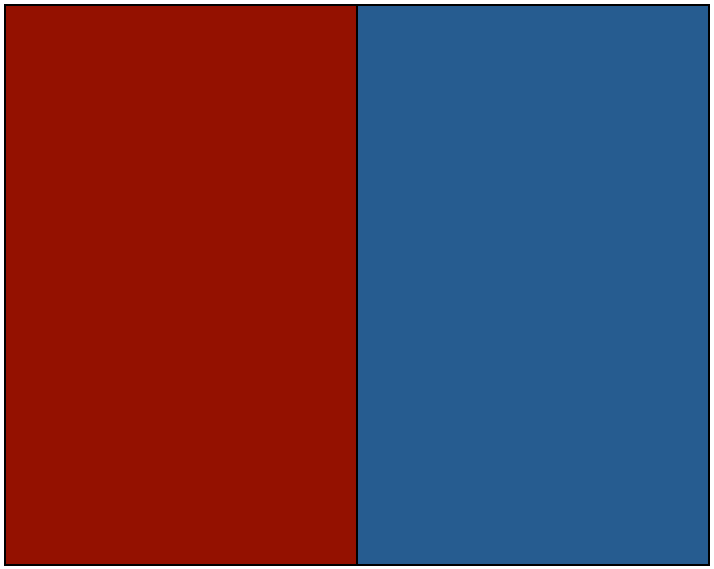


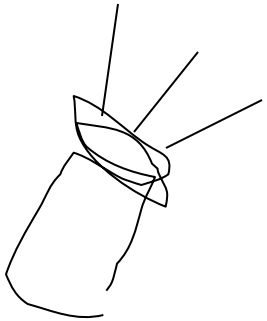




Source: W. Freeman

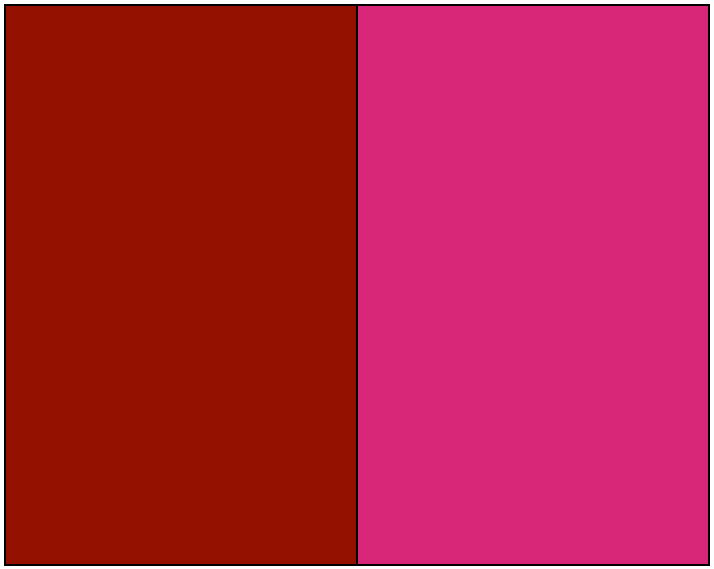
Color matching experiment 2

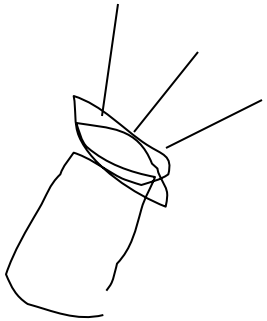


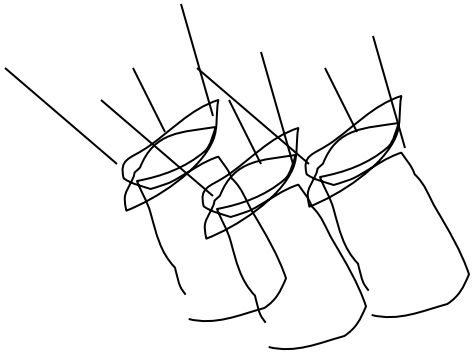


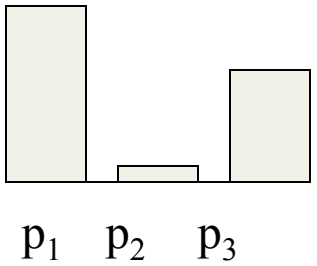
Source: W. Freeman

Color matching experiment 2



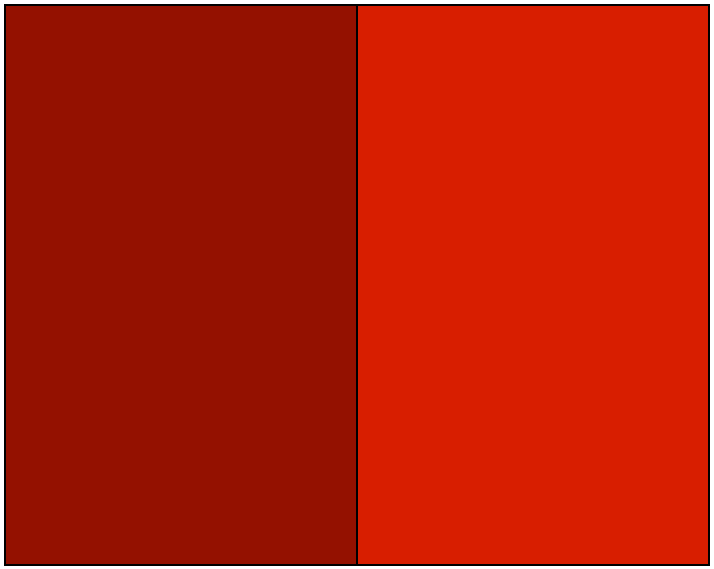


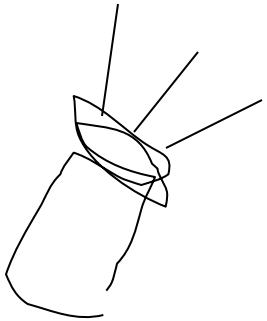


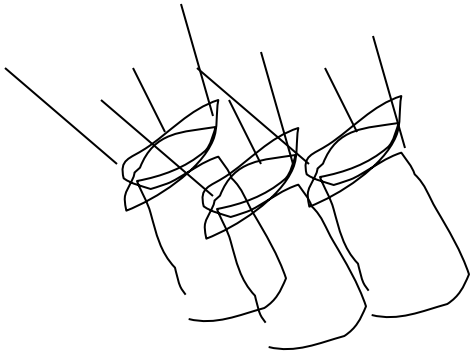


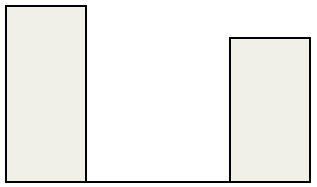
Source: W. Freeman

Color matching experiment 2





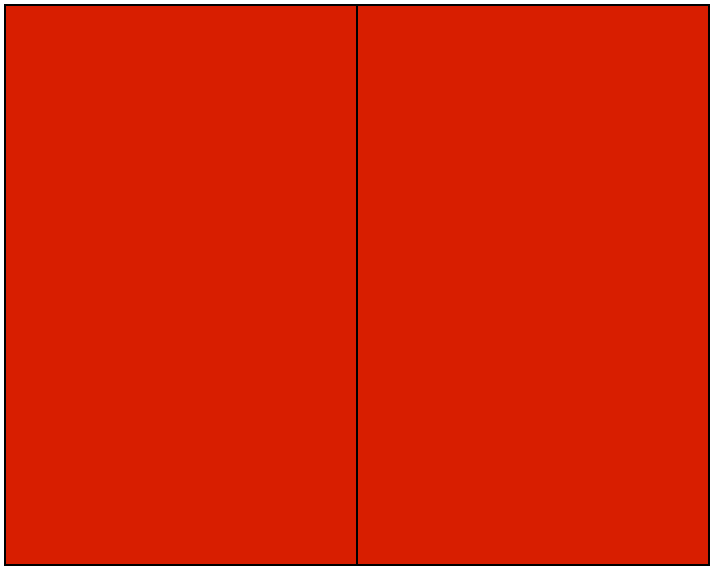




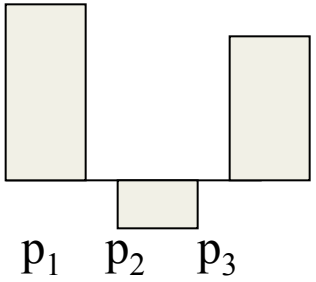
Source: W. Freeman

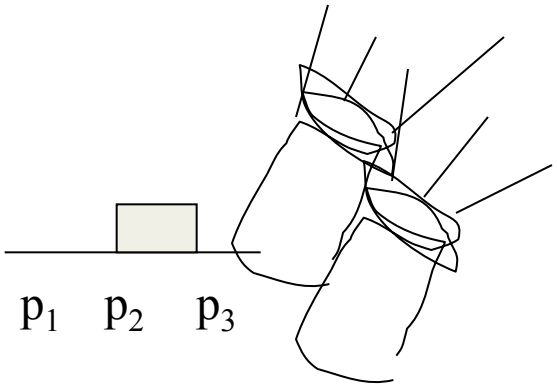
Color matching experiment 2

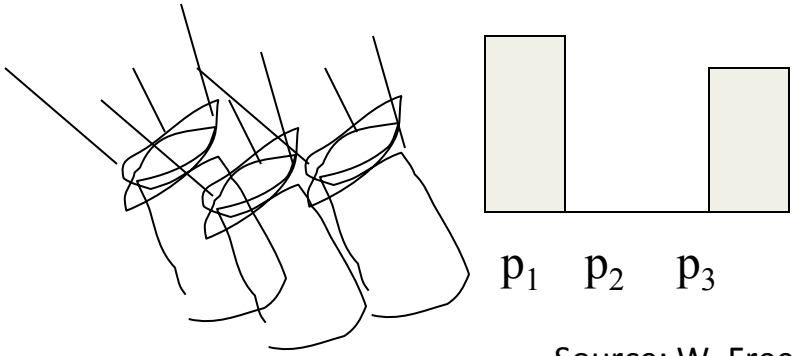
Avem nevoie de o cantitate "negativă" de culoare primară p_2, întrucât am adăugat-o de partea cealaltă.



Ponderile culorilor primare pentru realizarea de match

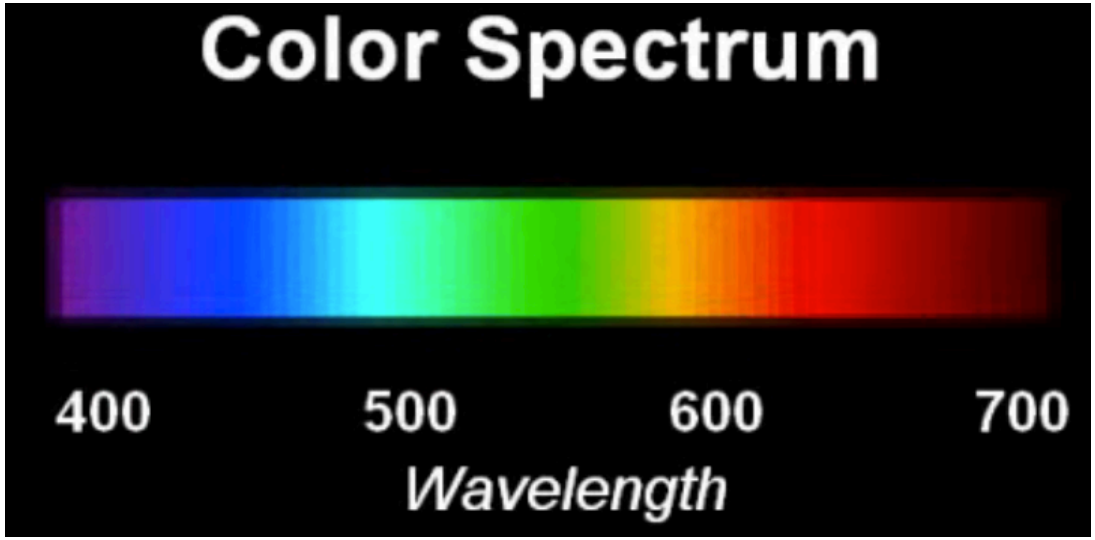


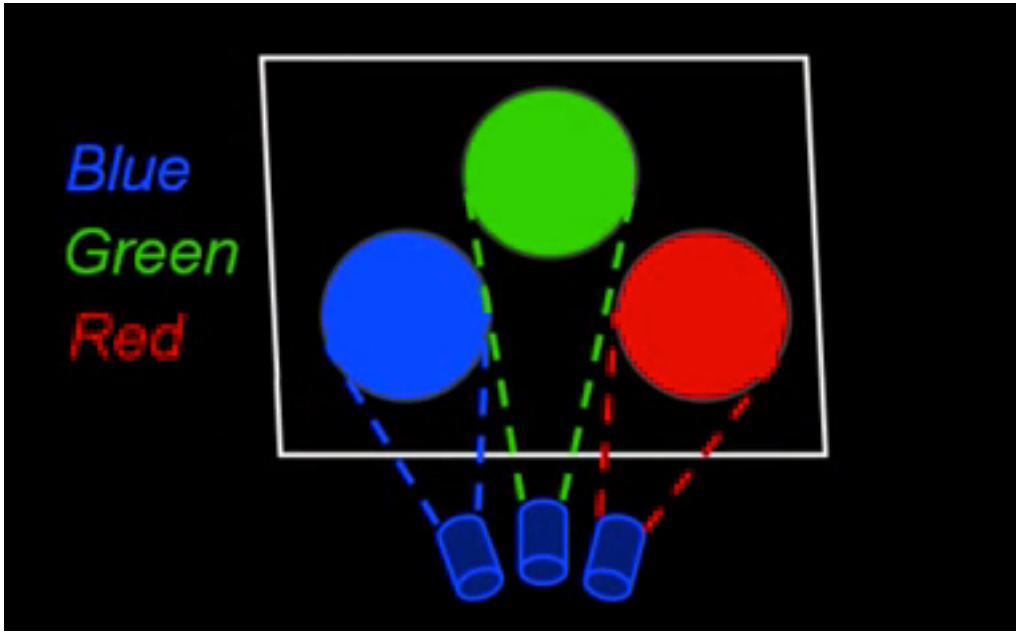




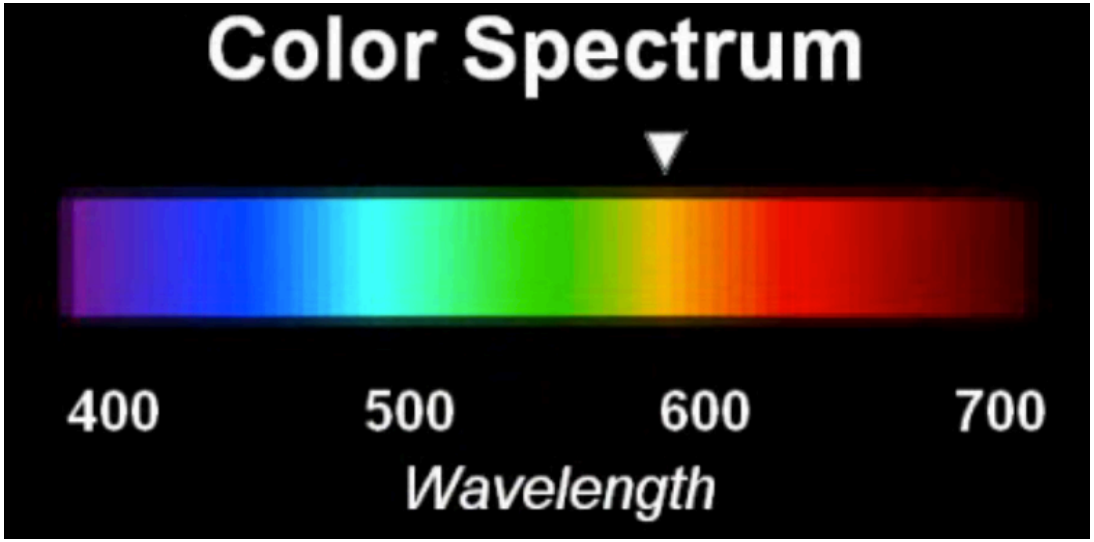
Source: W. Freeman

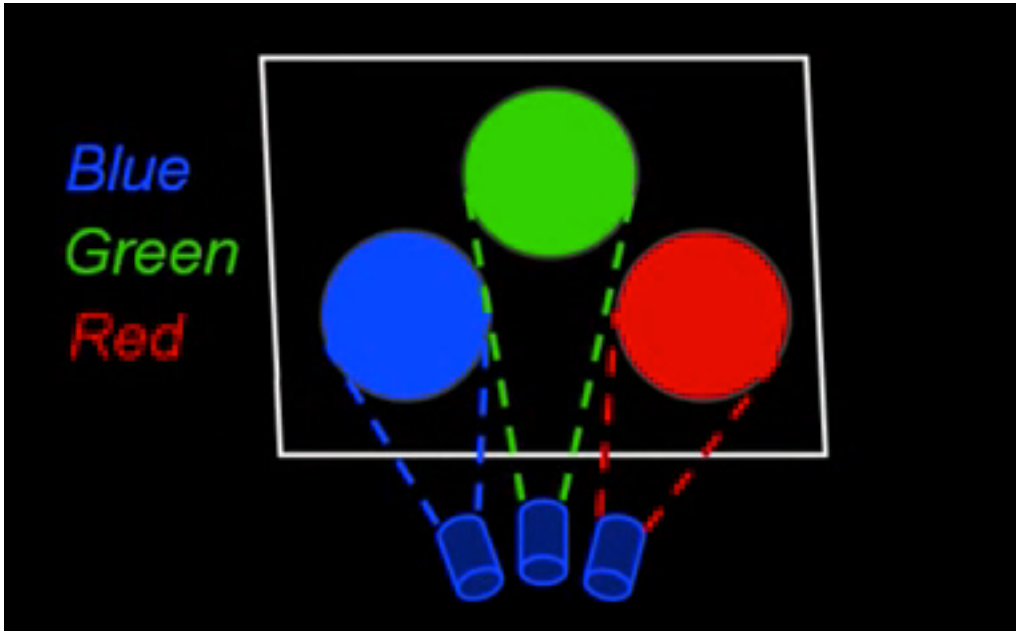
Modelul aditiv

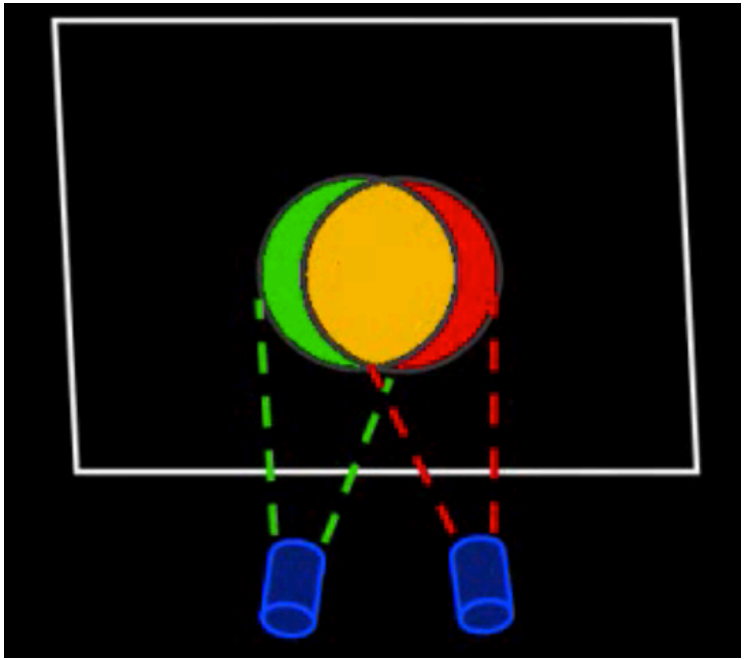




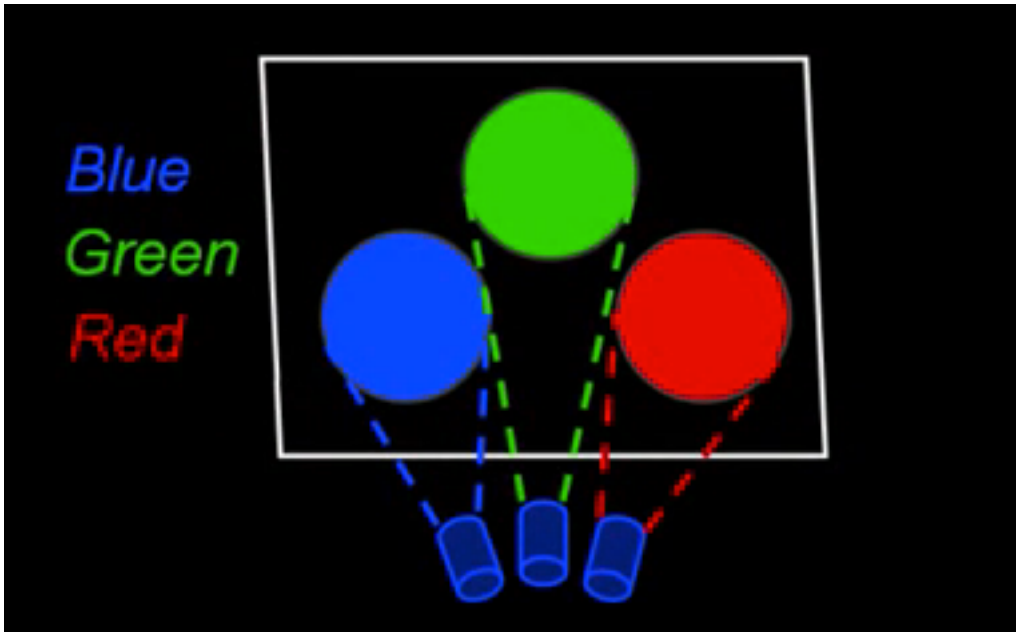
Modelul aditiv

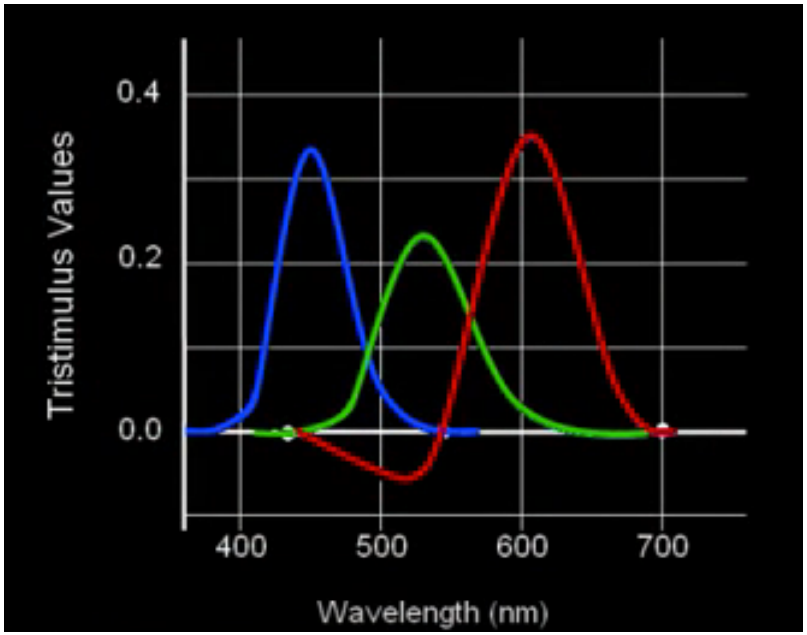






Modelul aditiv



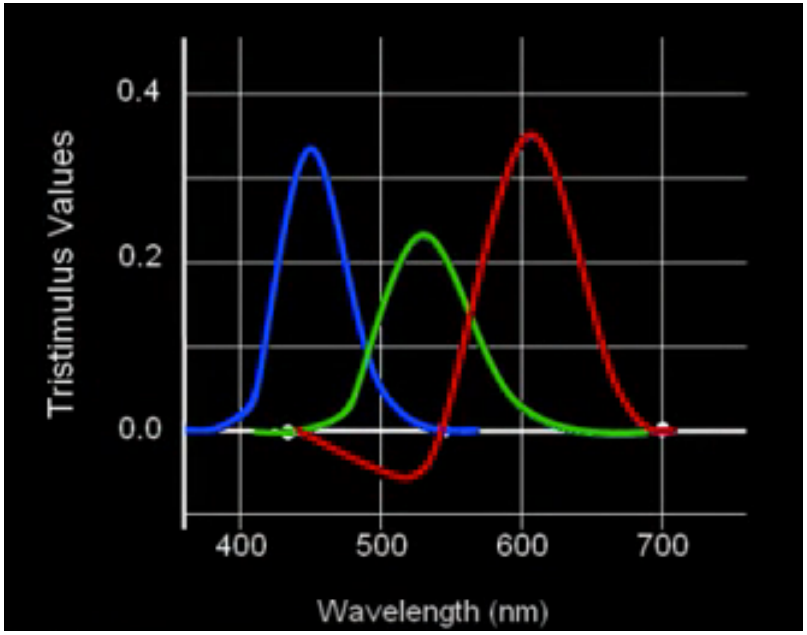


CIE (Commision Internationale de l'Eclairage - the International Commision on Illimination) a specificat lungimile de undă corespunzătoare culorilor primare (în anul 1931), înainte de determinarea experimentală a curbelor de absorbtie a luminii de către conuri

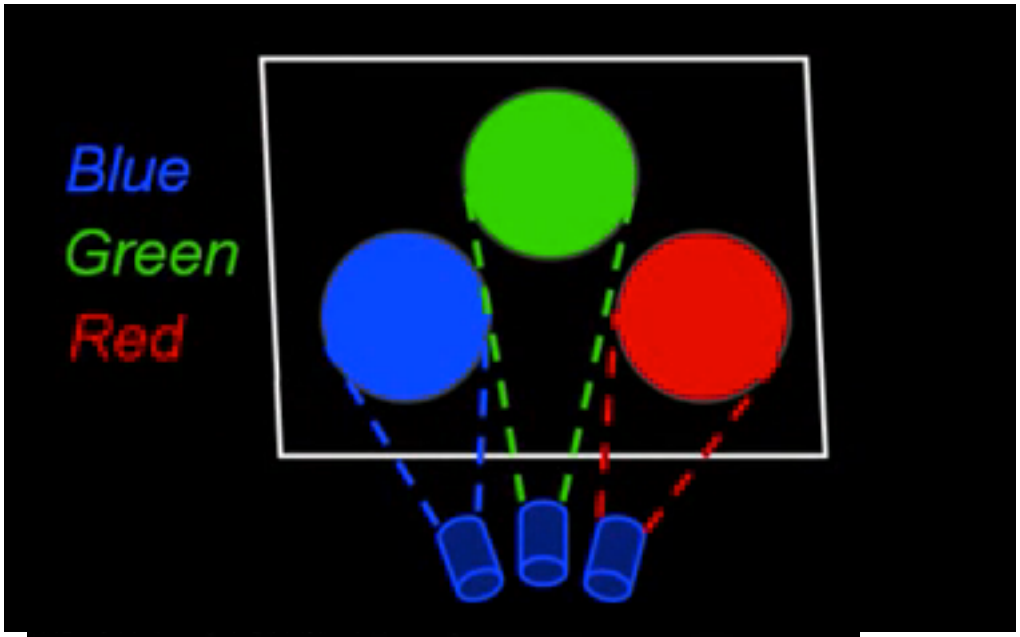
Albastru= 435,8 nm
Verde = 546,1 nm
Roșu = 700nm

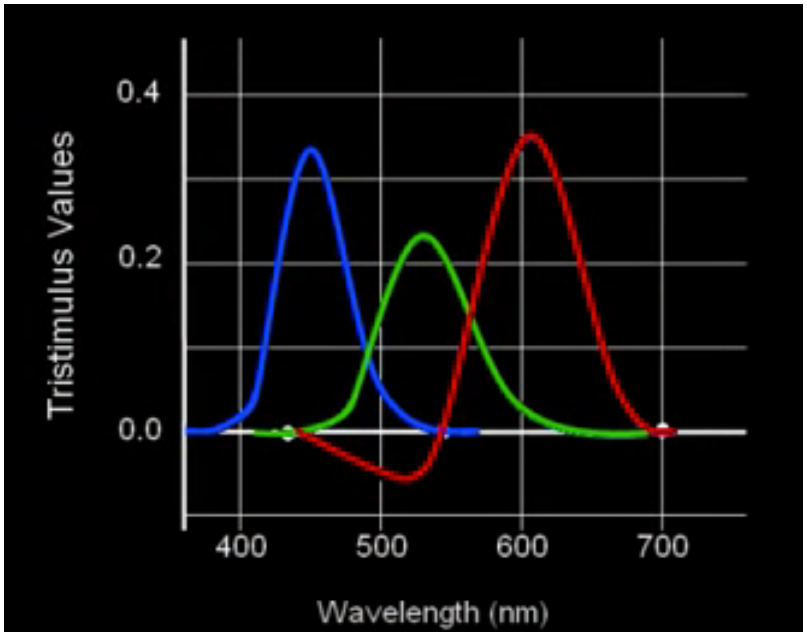
Table 1.2 Average color-matching functions $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$ of observers with normal color vision viewing a 2 degree visual field. The monochromatic primaries R (700.0 nm), G (546.1 nm), B (435.8 nm) have radiances in the ratios $L_R : L_G : L_B = 72.1 : 1.4 : 1.0$ (approx.). (From CIE Publication No. 15, *Colorimetry*, 1971).

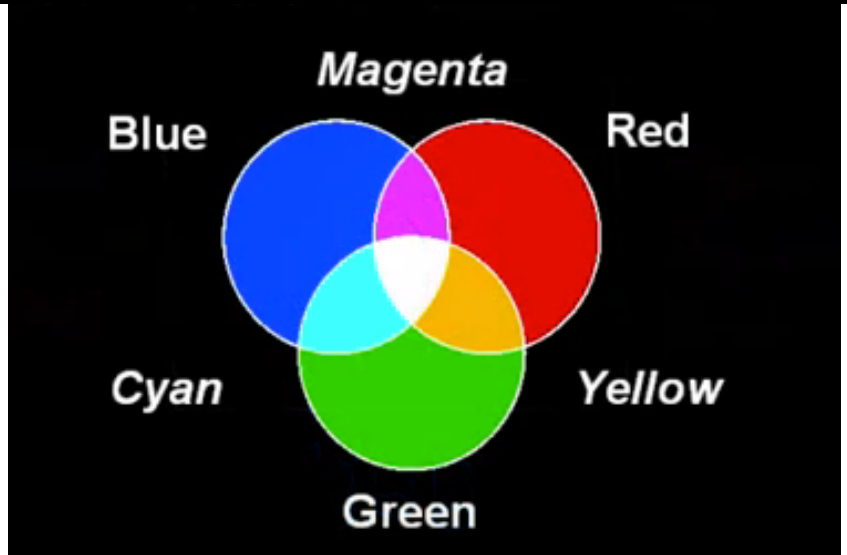
Constant radiance test stimulus at wavelength λ(nm)	Color-matching functions (spectral tristimulus values)		
	$\bar{r}(\lambda)$	$\bar{g}(\lambda)$	$\bar{b}(\lambda)$
380	0.00003	−0.00001	0.00117
400	0.00030	−0.00014	0.01214
420	0.00211	−0.00110	0.11541
440	−0.00261	0.00149	0.31228
460	−0.02608	0.01485	0.29821
480	−0.04939	0.03914	0.14494
500	−0.07173	0.08536	0.04776
520	−0.09264	0.17468	0.01221
540	−0.03152	0.21466	0.00146
560	0.09060	0.19702	−0.00130
580	0.24526	0.13610	−0.00108
600	0.34429	0.06246	−0.00049
620	0.29708	0.01828	−0.00015
640	0.15968	0.00334	−0.00003
660	0.05932	0.00037	0.00000
680	0.01687	0.00003	0.00000
700	0.00410	0.00000	0.00000
720	0.00105	0.00000	0.00000
740	0.00025	0.00000	0.00000
760	0.00006	0.00000	0.00000



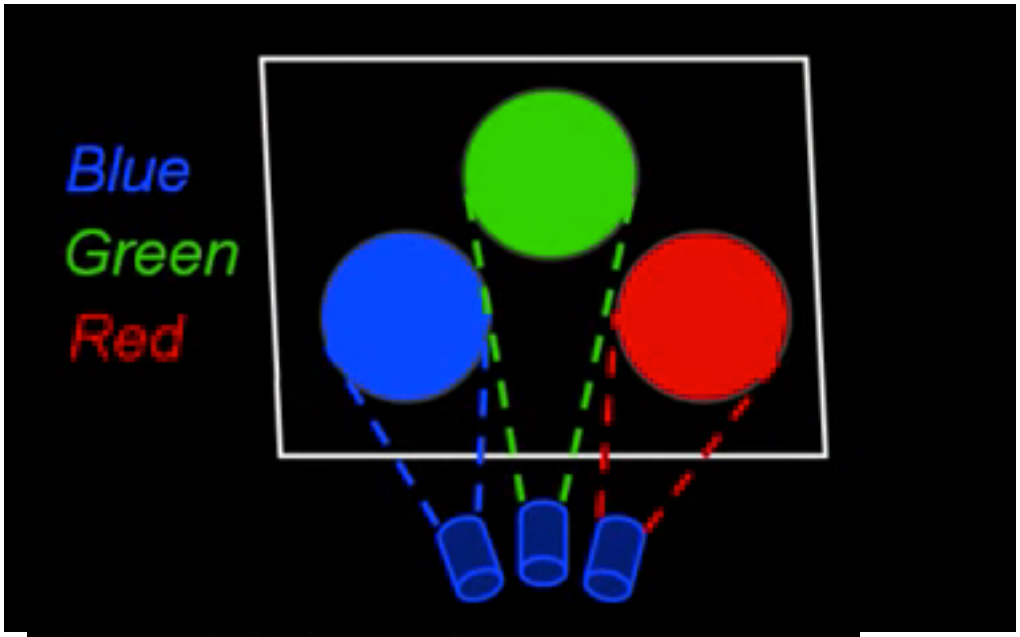
Modelul aditiv

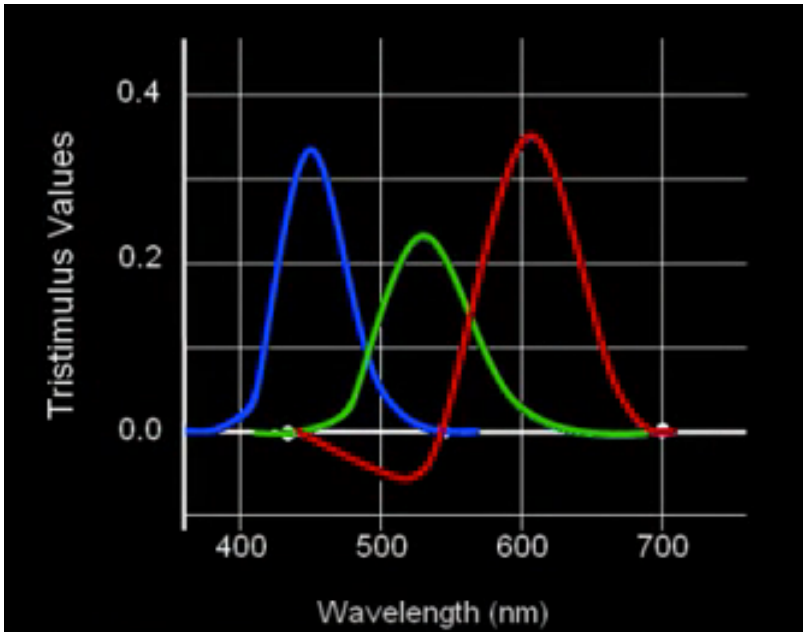


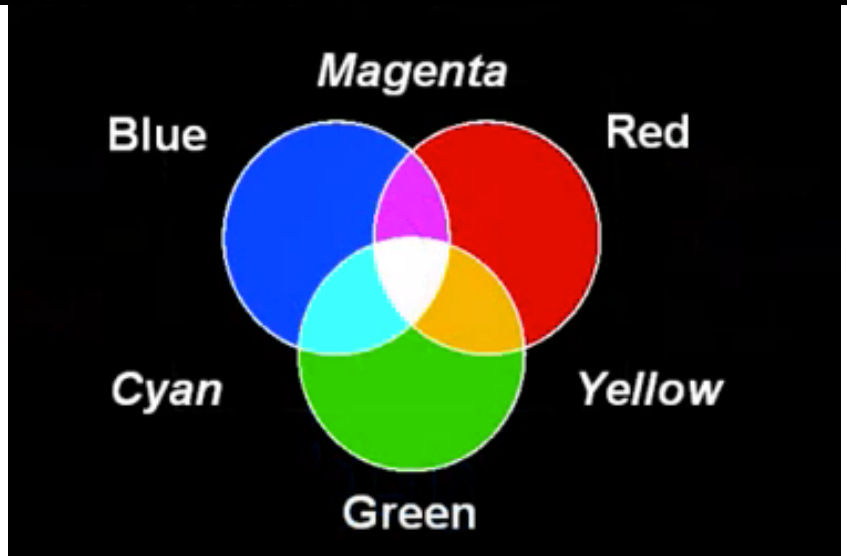


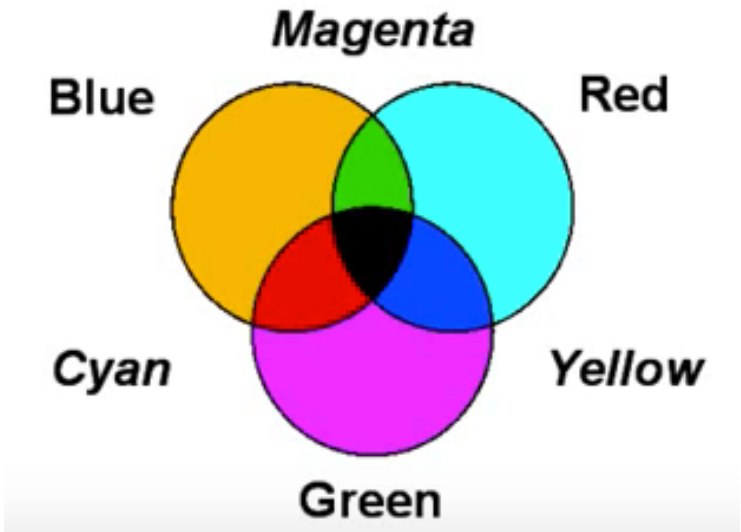


Culori complementare



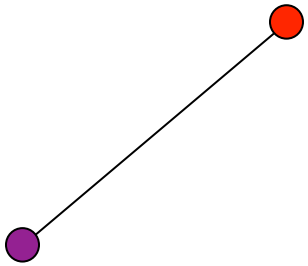




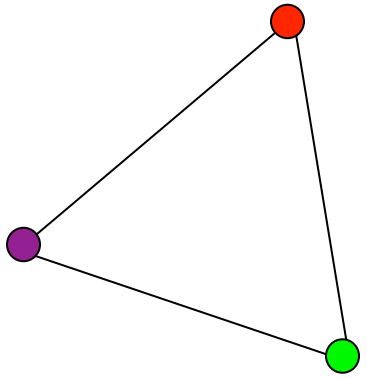


Spații de culori liniare

- definite de alegerea celor 3 culori *primare*
- coordonate unei culori sunt date de ponderile fiecărei culori primare



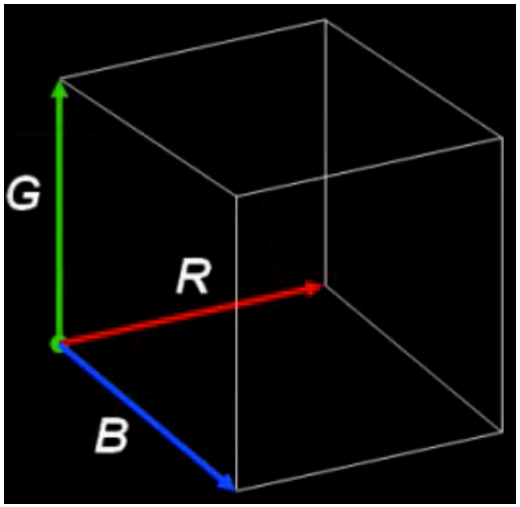
Combinând două culori obținem o culoare care se află pe segmentul determinat de culorile inițiale în spațiul culorilor

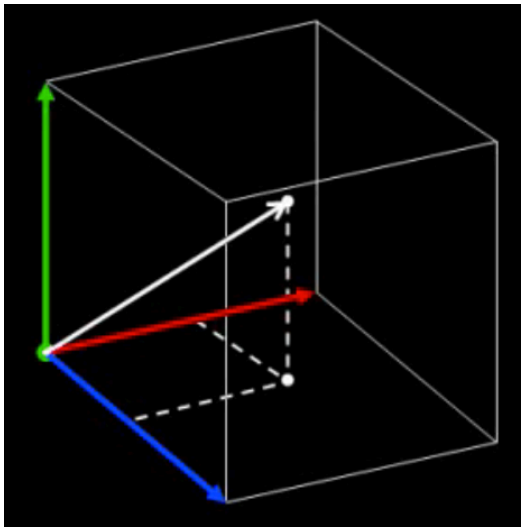


Combinând trei culori obținem o culoare care se află pe în triunghiul determinat de culorile inițiale în spațiul culorilor

Spații liniare de culori : spațiul RGB

- culori primare: roșu, verde, albastru (pentru monitoare)





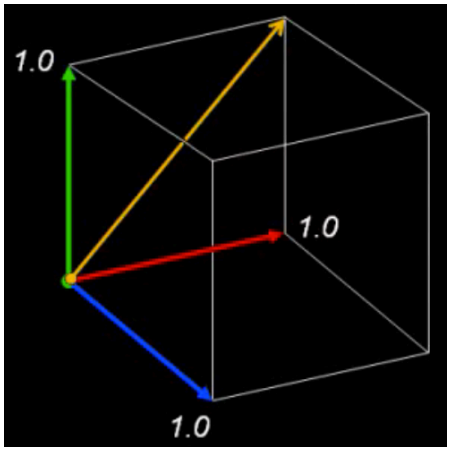
Culorile fizic realizabile prin amestecul aditiv de culori primare (gamut-ul de culoare) RGB sunt situate intr-un cub (valorile tristimulus sunt asociate unor coordonate carteziene).

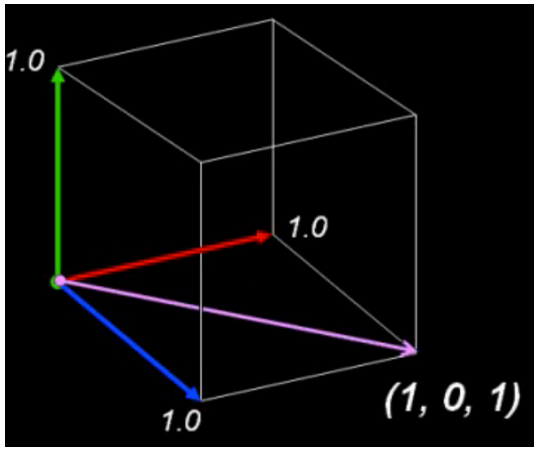
Exista culori fizice ce nu pot fi sintetizate prin amestecul aditiv, cu coeficienti pozitivi, al componentelor primare RGB.

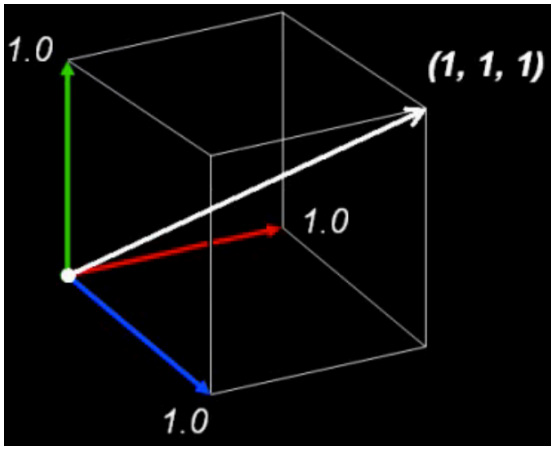
Spatiul este cu variatie neuniforma - distantele euclidiene intre reprezentarile tristimulus nu corespund distantelor perceptuale dintre culorile corespunzatoare.

Spații liniare de culori : spațiul RGB

- culori primare: roșu, verde, albastru (pentru monitoare)

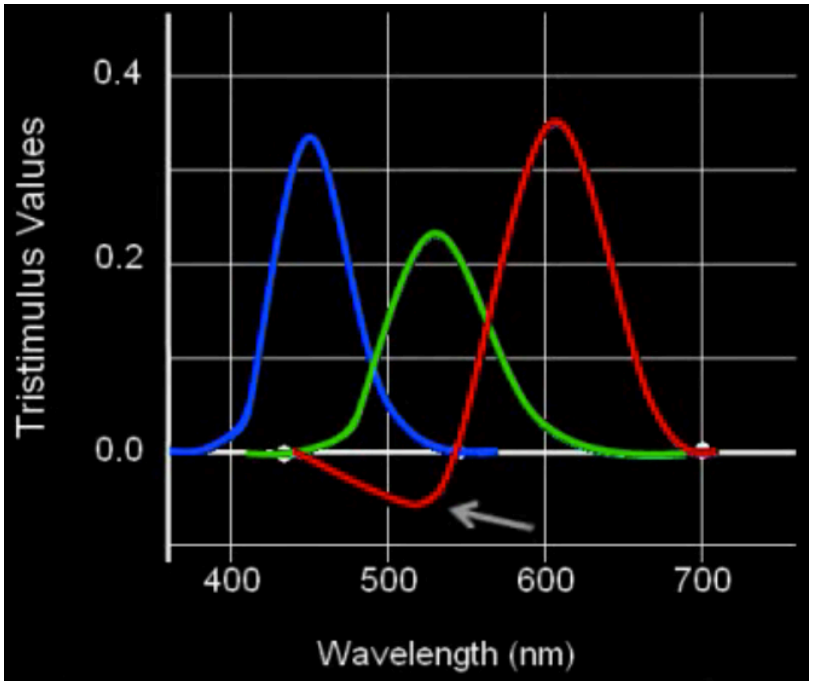


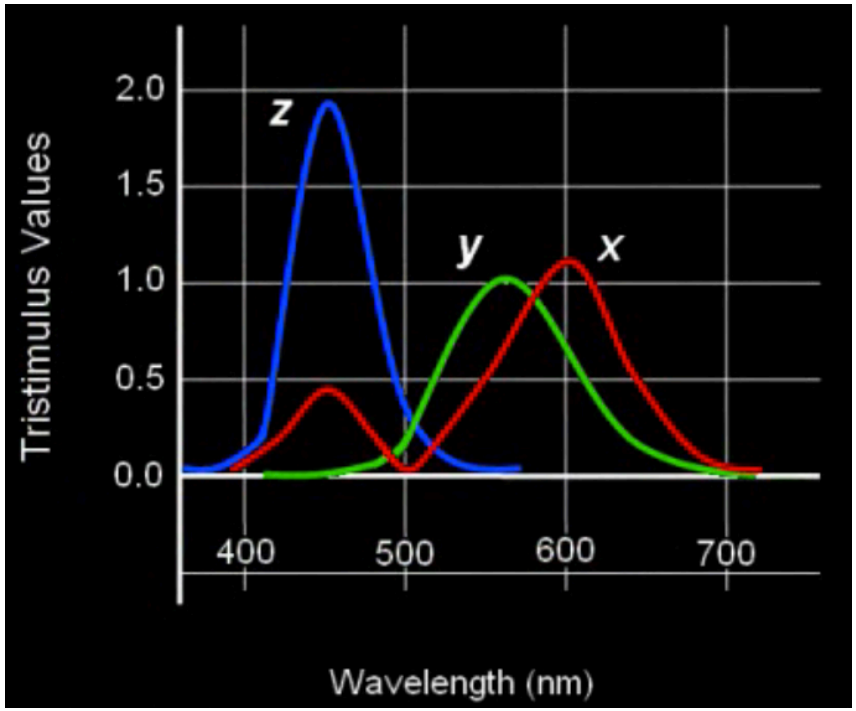




Spații liniare de culori

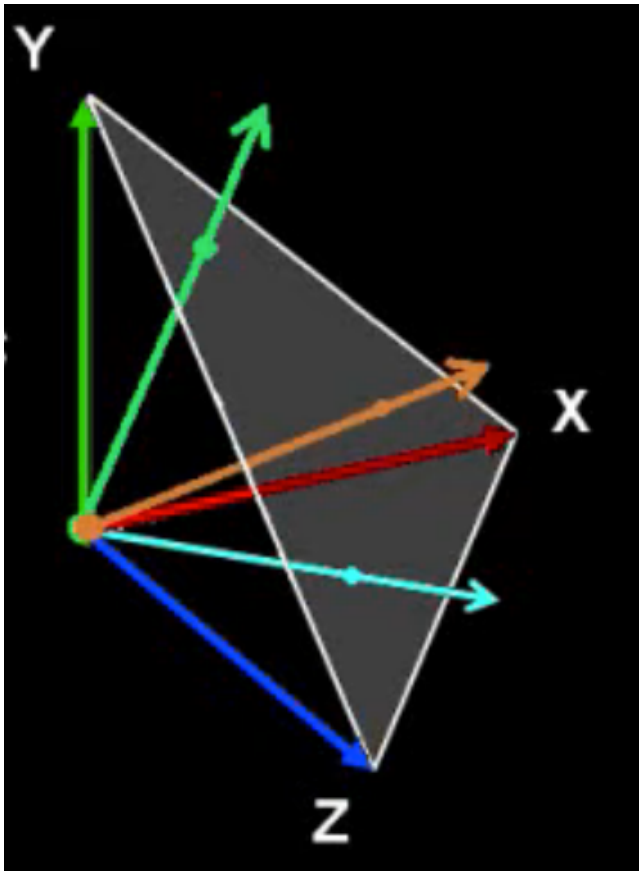
RGB → XYZ

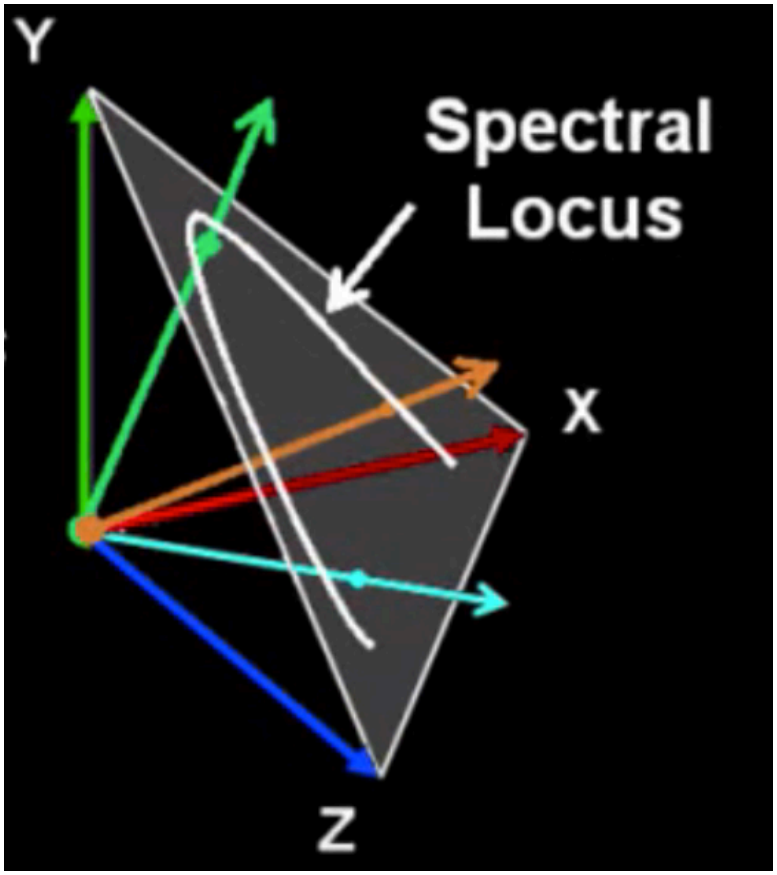




Merg într-un spațiu de culori primare imaginare XYZ , are proprietatea că fiecare culoare din spectru se obține cu ponderi pozitive pentru X, Y, Z

Spații liniare de culori: XYZ





Obțin toate culorile din spectru

Spații liniare de culori : spațiul XYZ

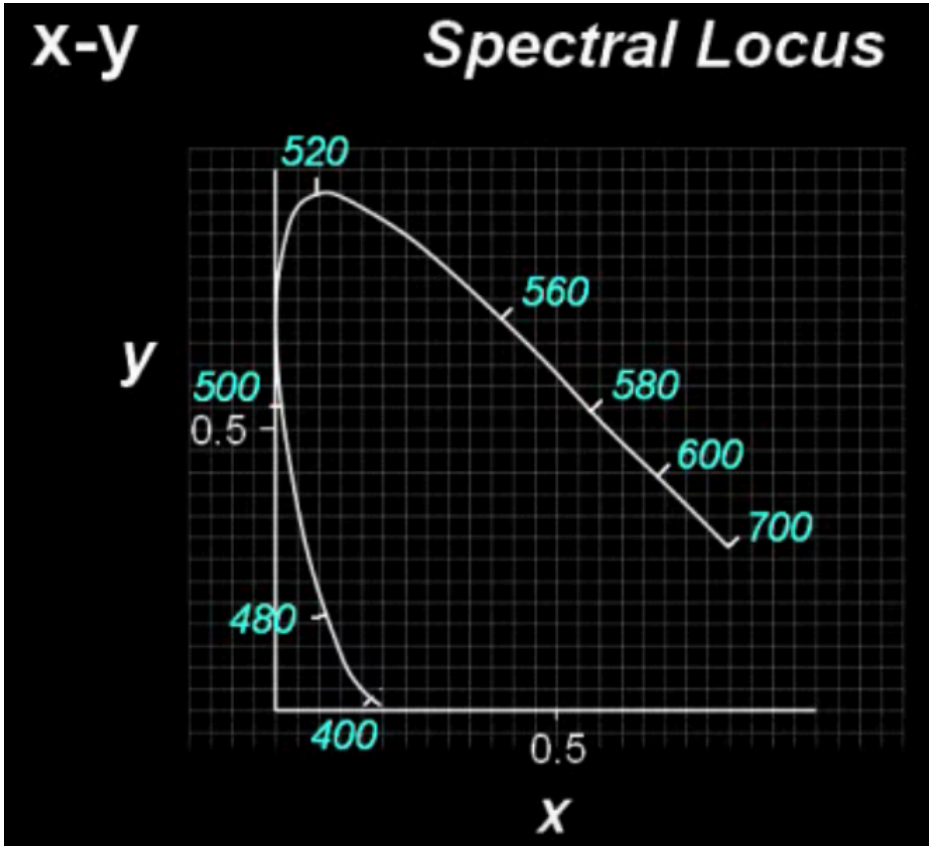
- Stabilit ca standard alături de RGB în, 1931

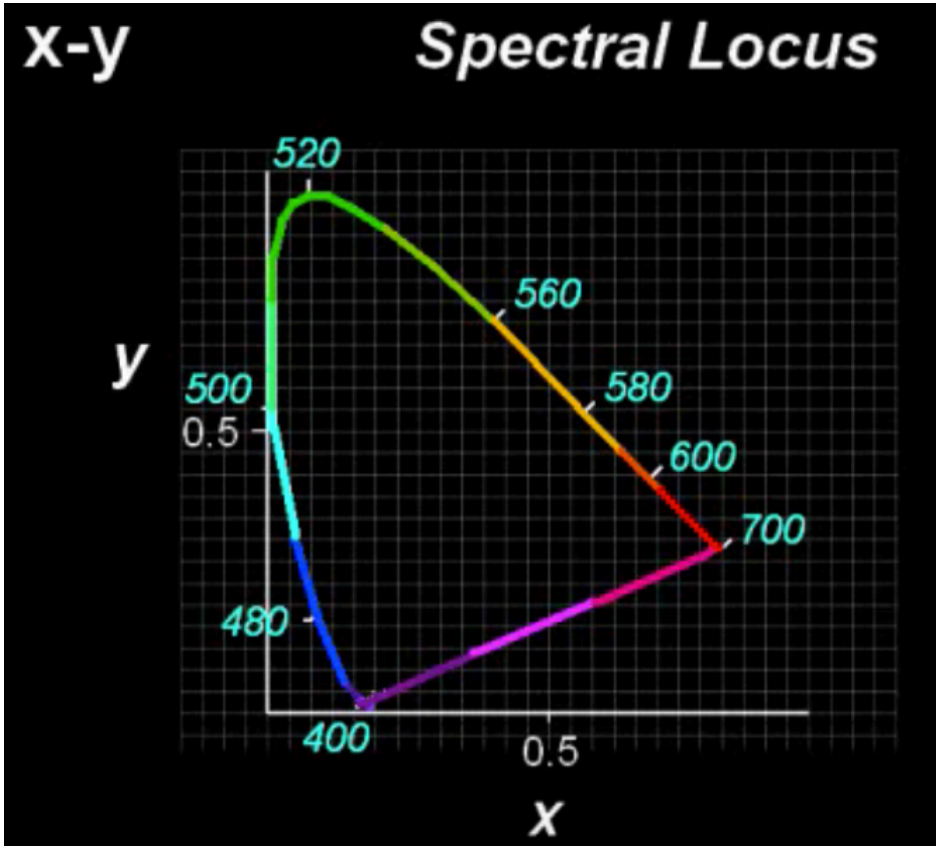
- Pentru vizualizare se separă intensitatea luminii de culoare, intensitatea este reprezentată de componenta Y (brightness) iar culoarea se reprezintă prin valorile x și y:

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

- Parametrul Y corespunde luminozității culorii (brightness)

Spații liniare de culori: XYZ, xy





Spații liniare de culori: XYZ, xy

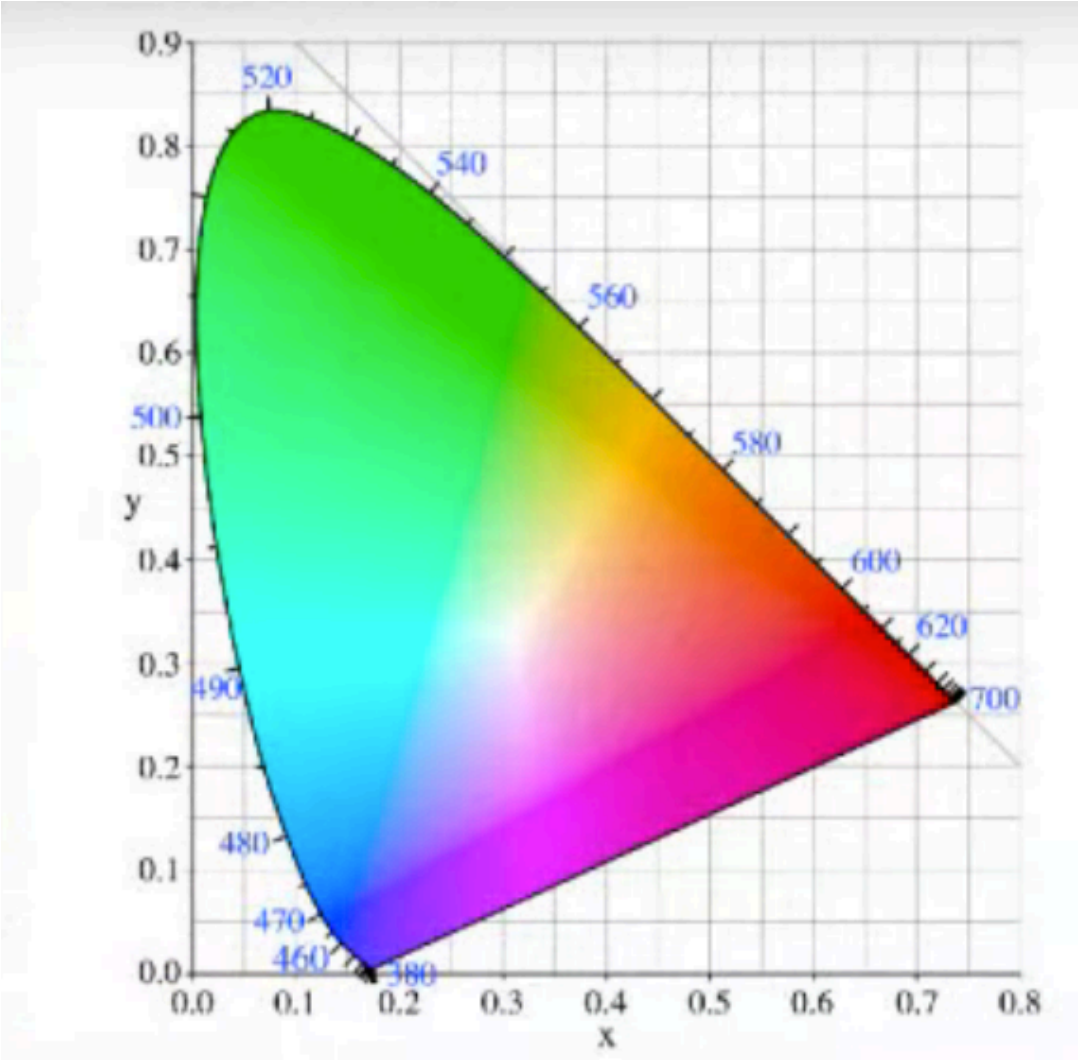
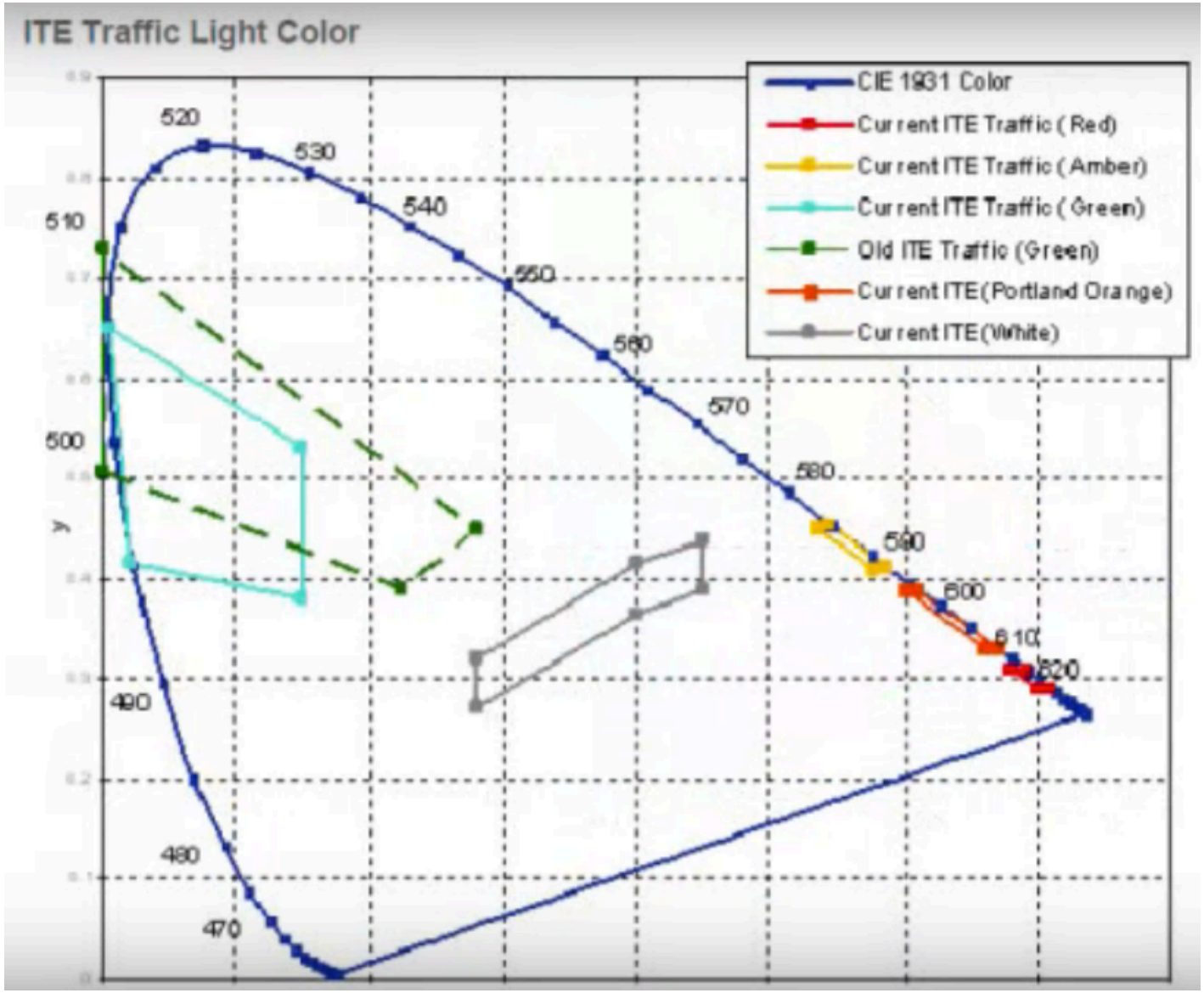
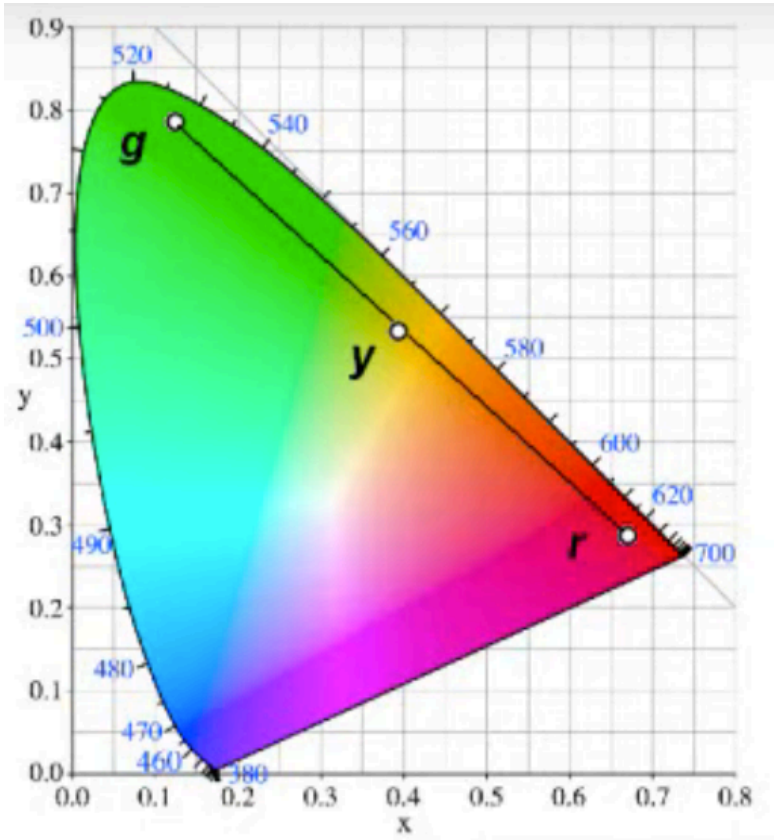


Diagrama de cromatică

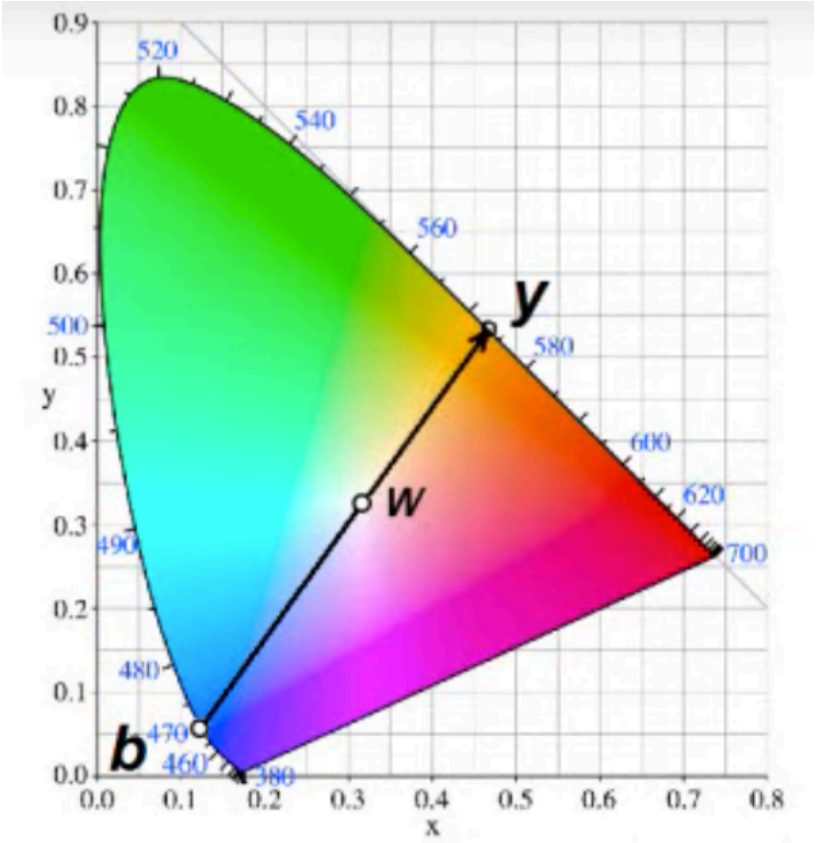
Standardizare de culori



Spații liniare de culori: XYZ, xy

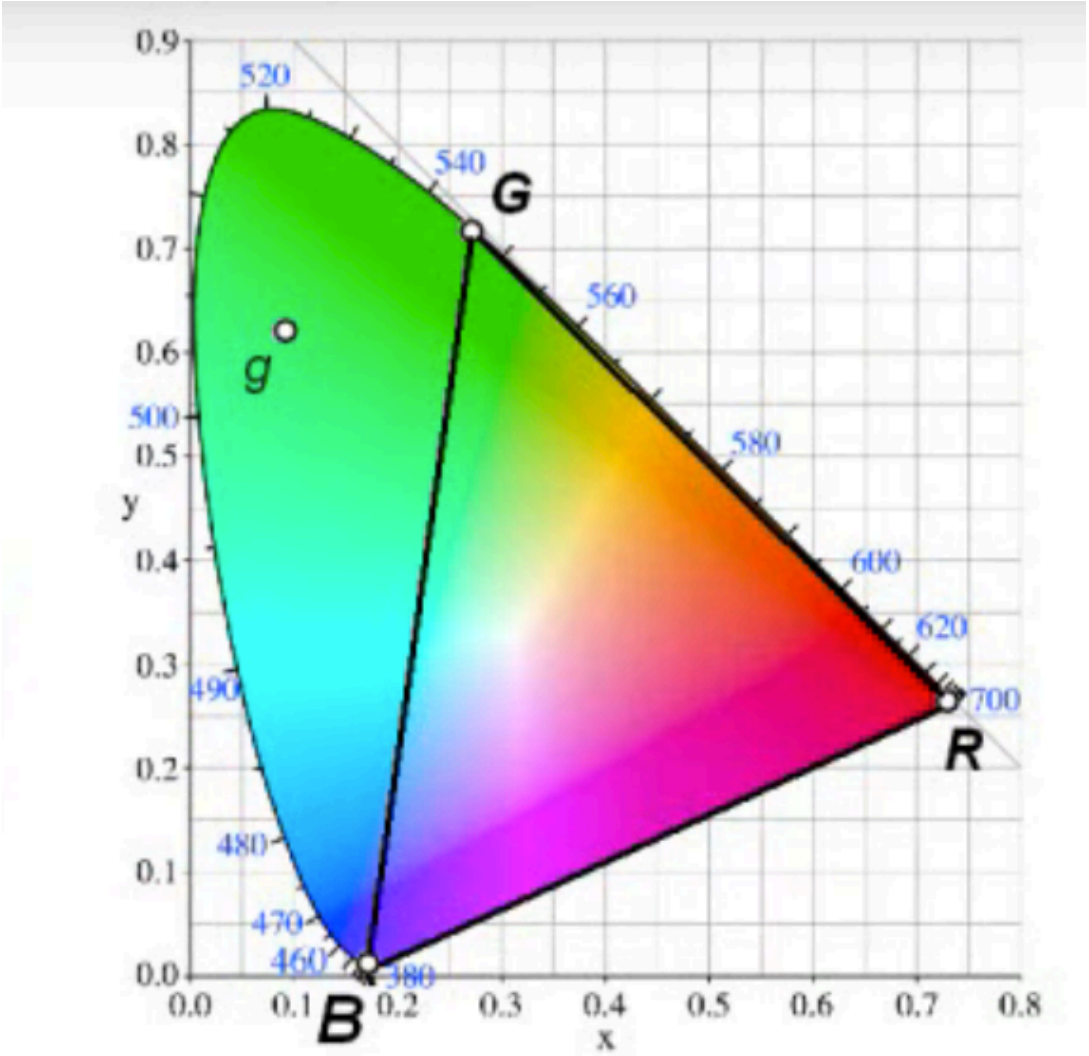


Amestec de culori



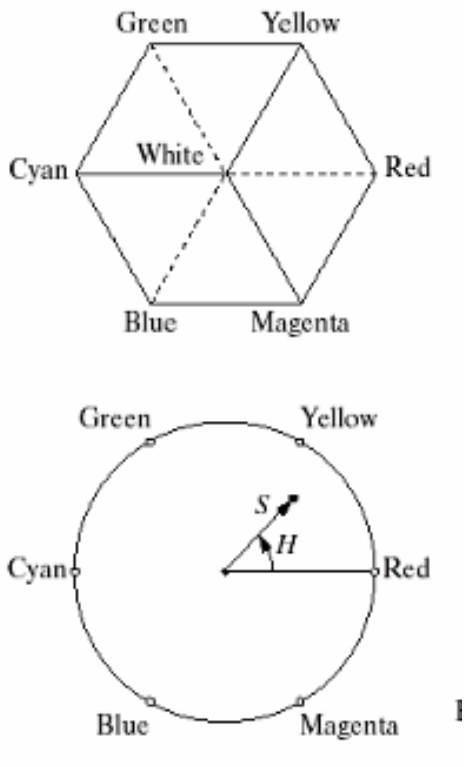
Complementul culorii

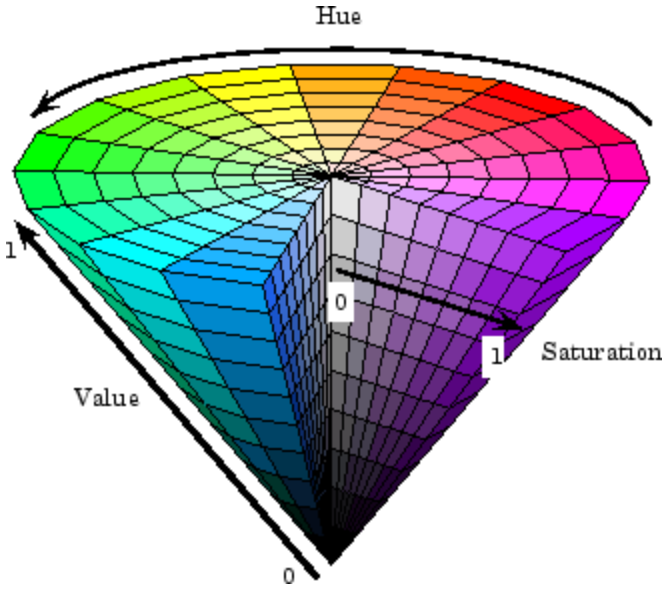
Spații liniare de culori: XYZ, xy

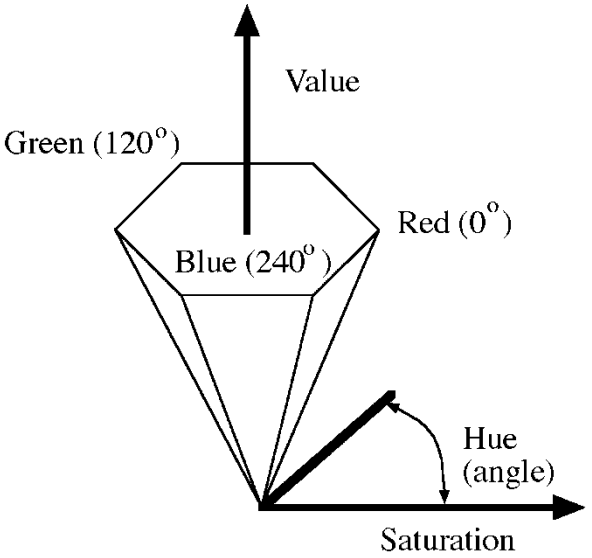


Albastru= 435,8 nm
Verde = 546,1 nm
Roșu = 700nm

Spații de culoare neliniare: HSV







Descrierea culorilor in limbaj natural foloseste o terminologie specifica:

nuanta - ce fel de culoare (verde, rosu, galben, ….)

saturatia - cat de pura este culoarea, cu cat alb a fost amestecata culoarea pura din care aceasta provine

luminozitatea - luminanta, stralucire luminoasa