

Procesarea Imagineilor Digitale

Curs - Operații punctuale - Histograma

Universitatea "Transilvania" din Brașov

Îmbunătățirea imaginii - *Image enhancement*

Transformarea imaginii într-un mod convenabil, potrivit scopului urmărit.

Tehnici:

- În domeniul spațial - operații și transformări care se aplică direct asupra pixelilor imaginii.
- În domeniul frecvență - operații / transformări efectuate asupra transformatei Fourier/transformatei Wavelet a imaginii.

Transformarea imaginii în domeniul spațial

Transformare în domeniul spațial

$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

$f(x, y)$ = imaginea inițială

$g(x, y)$ = imaginea rezultat

T = operator care operează pe o vecinătate a pixelului (x, y)

Vecinătate regiune de obicei pătrată de dimensiune $(2k + 1) \times (2k + 1)$ centrată în (x, y) .

Operații punctuale

- vecinătatea este formată doar din pixelul (x, y)
- $g(x, y)$ depinde doar de $f(x, y)$

Transformarea devine:

$$s = T(r)$$

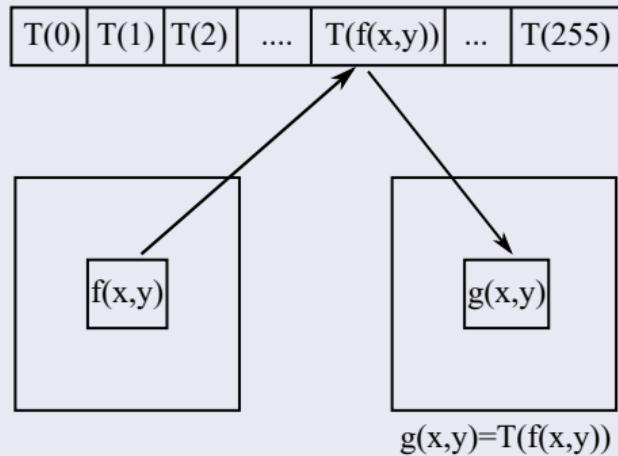
r = nivelul de gri inițial

s = nivelul de gri rezultat.

Look-up table - LUT

Presupune:

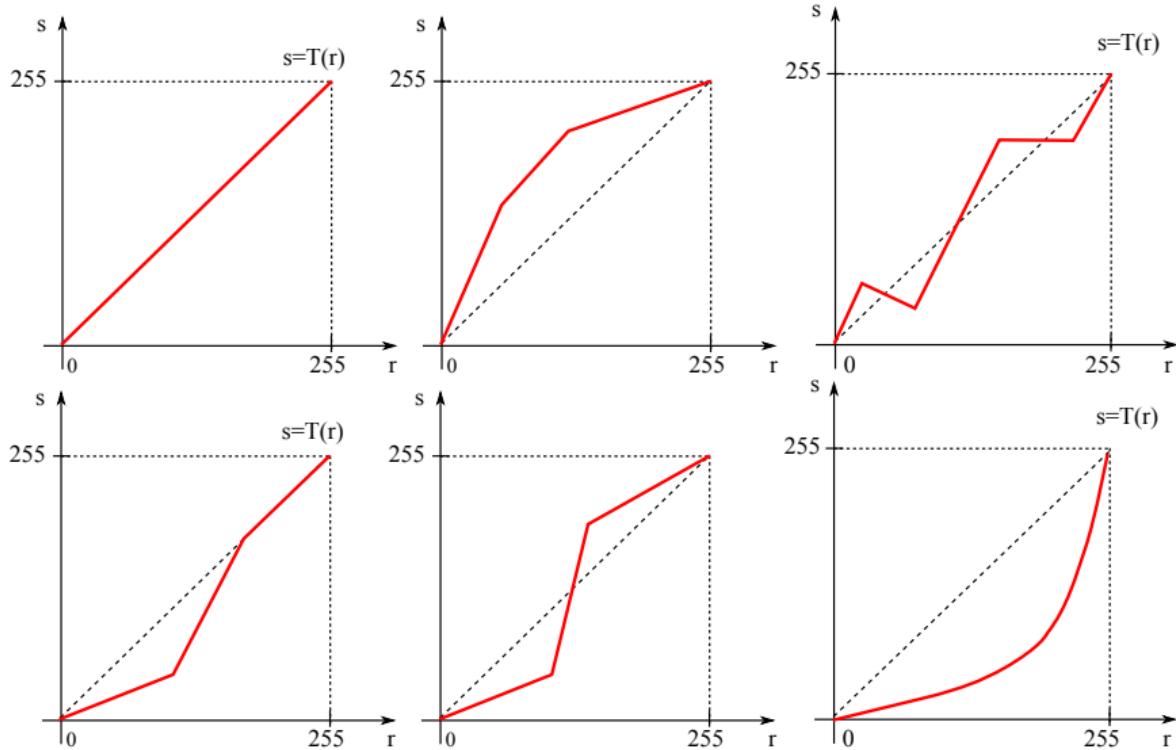
- calcularea $LUT(r) = T(r)$, $\forall r \in \{0, 1, \dots, 255\}$
- înlocuirea fiecărui pixel (x, y) cu $LUT[f(x, y)]$.



Modificarea luminozității și contrastului

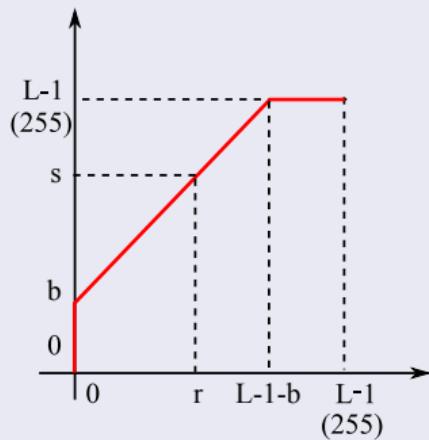
- **Modificarea luminozității:** - creșterea / scăderea mediei valorilor de gri în imagine.
- **Modificarea contrastului:** - modificarea distanței între niveluri de gri consecutive prezente în imagine.

Operatori de modificare a nivelerelor de gri



Modificarea luminozității și contrastului - operatori liniari cu panta 1

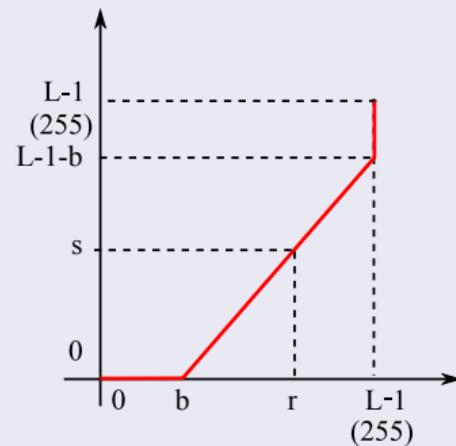
Creșterea luminozității



$$T_+(r) = \begin{cases} r + b, & 0 \leq r \leq 255 - b \\ 255, & \text{altfel} \end{cases}$$

$$b > 0$$

Scăderea luminozității



$$T_-(r) = \begin{cases} r - b, & b \leq r \leq 255 \\ 0, & \text{altfel} \end{cases}$$

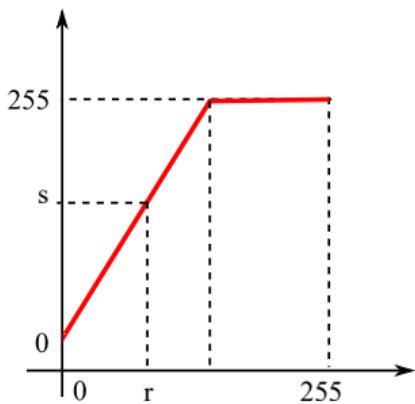
$$b > 0$$

Modificarea luminozității- operatori liniari cu panta 1



$T_+(r)$ cu $b = 50$, $T_-(r)$ cu $b = 50$

Modificarea luminozității și contrastului - Operatori liniari



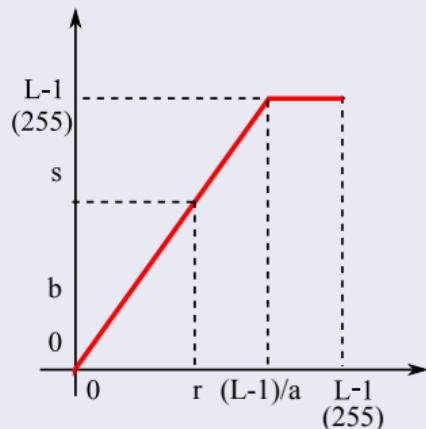
$$T(r) = ar + b$$

unde:

- a - panta dreptei - controlează contrastul
- b - termenul liber - controlează luminozitatea pentru contrastul dat

Creșterea luminozității - Operatori liniari

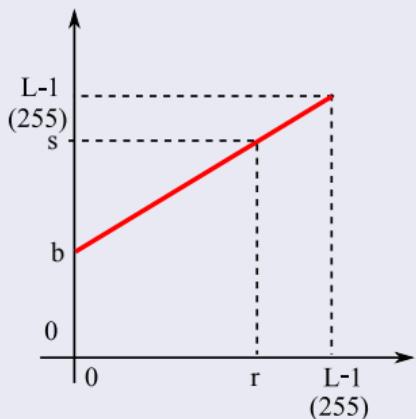
Păstrează negrul



$$T_+^0(r) = \begin{cases} ar, & 0 \leq r \leq 255/a \\ 255, & \text{altfel} \end{cases}$$

$$a > 1$$

Păstrează albul



$$T_+^1(r) = ar + b$$

$$0 < a < 1, b > 0$$

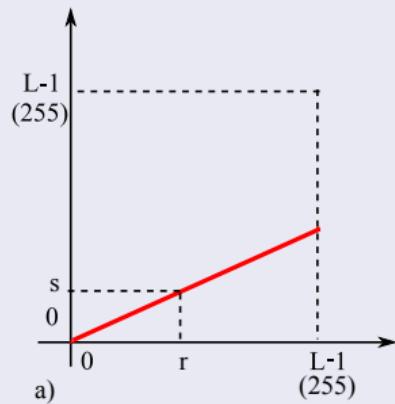
Creșterea luminozității- operatori liniari



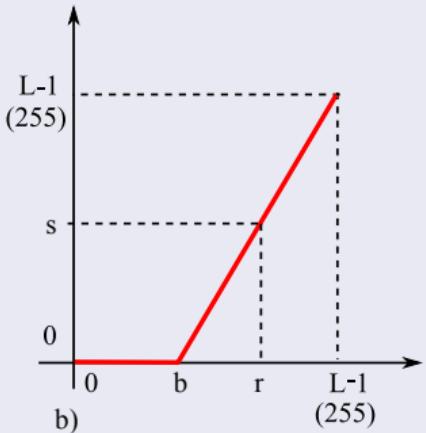
$T_+^0(r)$ cu $a = 2$, $T_+^1(r)$ cu $a = 0.5$

Scăderea luminozității - Operatori liniari

Păstrează negrul



Păstrează albul

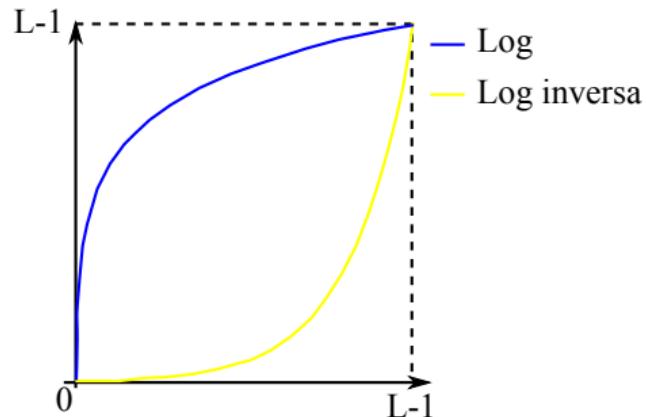


Scăderea luminozității- operatori liniari



$T_-^0(r)$ cu $a = 0,5$, $T_-^1(r)$ cu $a = 1,5$

Modificarea luminozității - Operatorul logaritmic



Operatorul logaritmic:

$$T_{\log}(r) = c \log(r + 1)$$

Operatorul invers:

$$T_{\exp}(r) = \exp(r/c) - 1.$$

Modificarea luminozității - Operatorul logaritmice



a)



b)



c)

Figure: a) Imagine de test; Imaginea originală de la a) după aplicarea operatorului b) T_{log} ; c) T_{exp} .

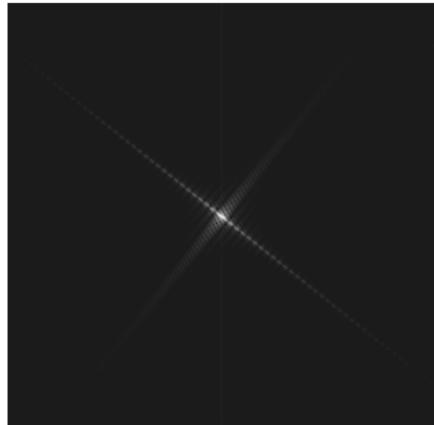
Modificarea luminozității - Operatorul logaritmic



a)



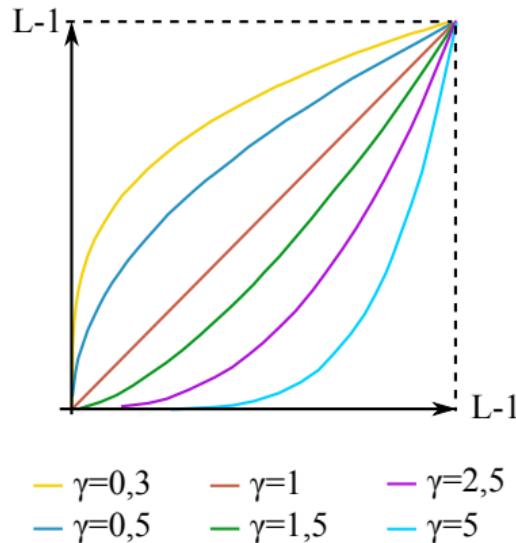
b)



c)

Figure: a) Imagine de test sintetică; b) Amplitudinea spectrului Fourier a imaginii din (a); c) Amplitudinea spectrului Fourier a imaginii din (a) după aplicarea operatorului T_{log} .

Modificarea luminozității - Gamma correction



Operator exponențial:

$$\text{Gamma}(r) = a * r^\gamma$$

- $\gamma = 1$ - transformarea identică.
- $0 < \gamma < 1$ - creșterea luminozității.
- $\gamma > 1$ - scăderea luminozității.

Modificarea luminozității - Gamma correction

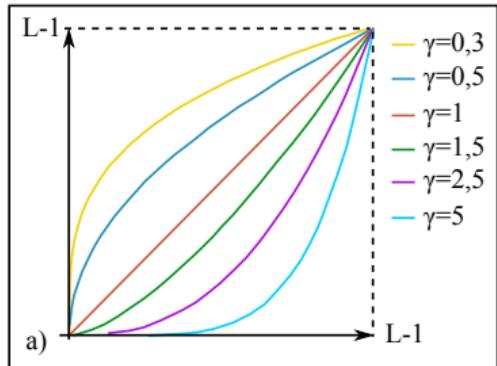


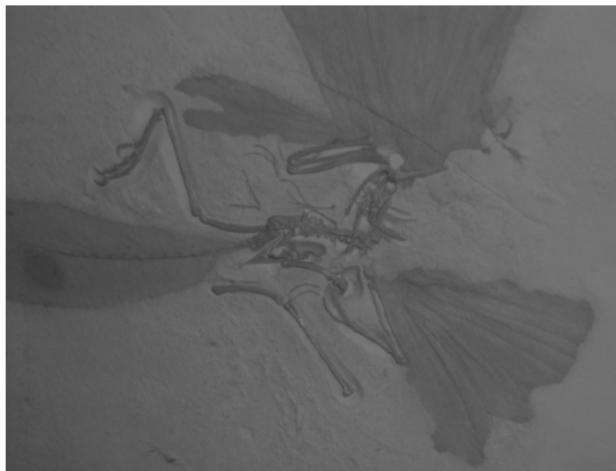
Figure: b) Imagine de test; c) $\gamma = 0,3$; d) $\gamma = 0,5$; e) $\gamma = 1,5$; f) $\gamma = 2,5$.

Îmbunătățirea contrastului

Modificarea (creșterea) contrastului este necesară dacă:

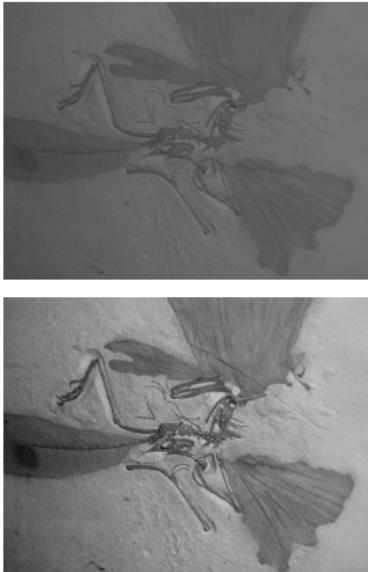
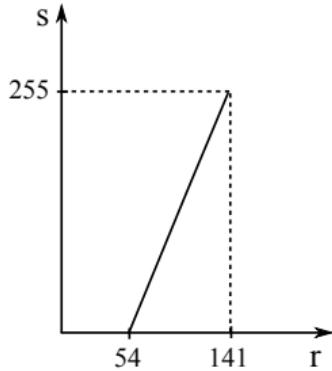
- imaginea are un contrast slab deja de la achiziție eg. iluminare necorespunzătoare
- prin natura imaginii anumite zone de interes prezintă un contrast slab în raport cu alte regiuni ale imaginii - eg. imagini medicale.

Creșterea contrastului unei imagini cu iluminare defectuoasă



- În imagine sunt prezente doar nivelele de gri din intervalul [54, 141]
- Contrastul este scăzut.

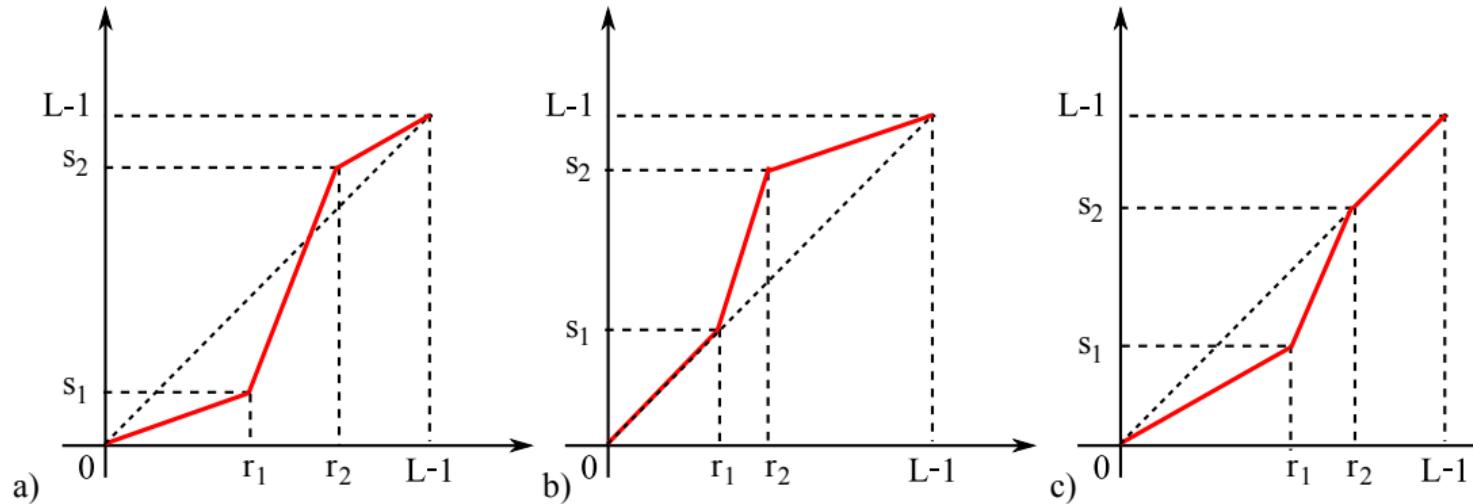
Transformare liniară pe întreg intervalul nivelerelor de gri



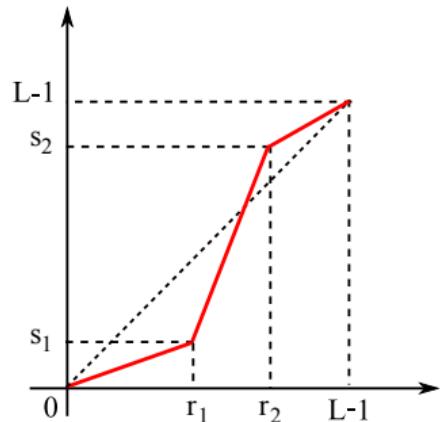
- $[L_{min}, L_{max}] \Rightarrow [0, 255]$ cu ajutorul unei transformări liniare.
- Ecuația dreptei de transformare:

$$\frac{r - r_1}{r_2 - r_1} = \frac{s - s_1}{s_2 - s_1},$$

Creșterea contrastului într-un interval dat- Operatori afini pe porțiuni



Creșterea contrastului într-un interval dat- Operatori afini pe porțiuni - Exemplu



a)

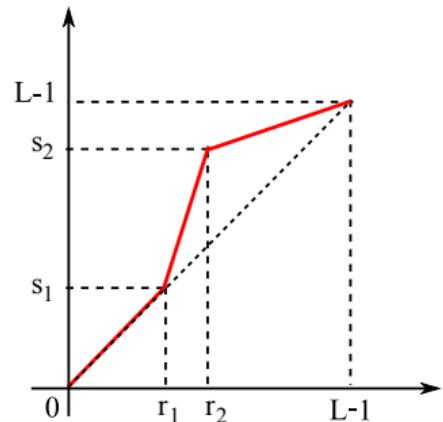


b)



c)

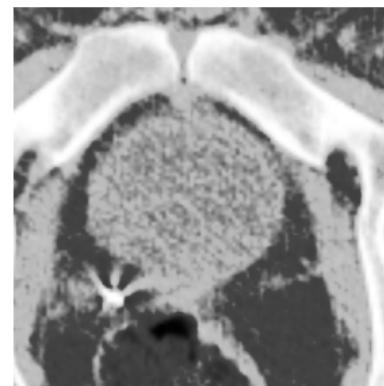
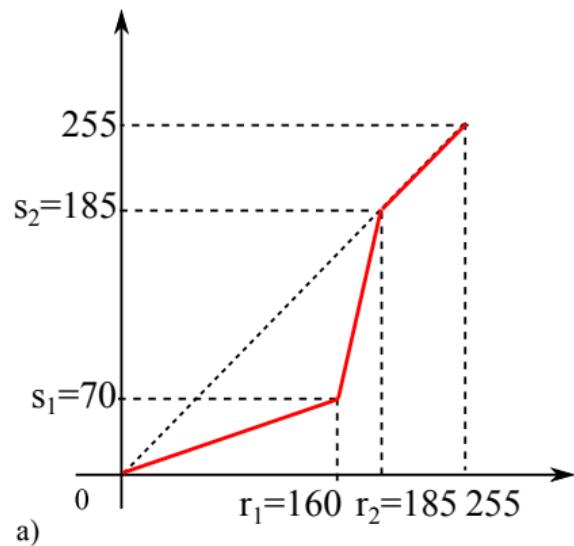
Creșterea contrastului într-un interval dat- Operatori afini pe porțiuni - Exemplu



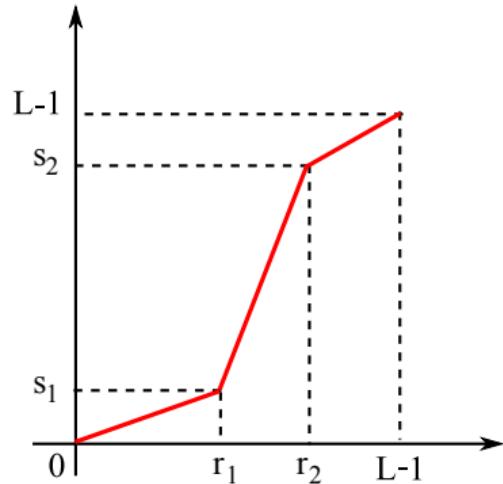
a)



Creșterea contrastului într-un interval dat- Operatori afini pe porțiuni - Exemplu



Creșterea contrastului într-un interval dat- Operatori afini pe porțiuni

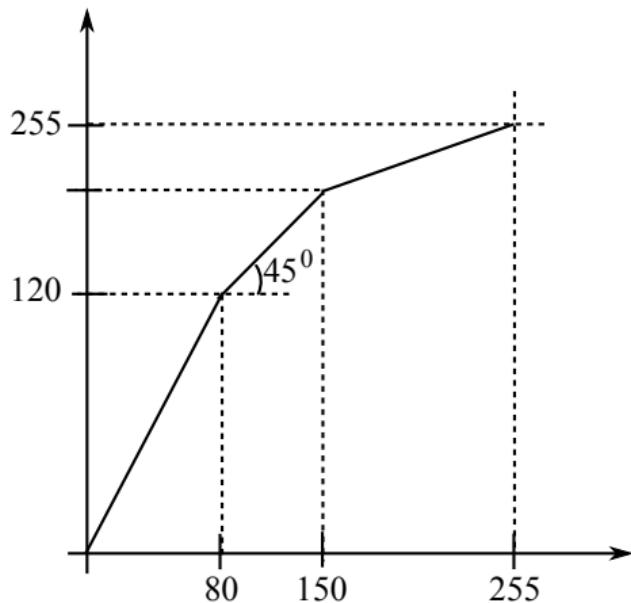


$$T_I(r) = \begin{cases} \alpha r, & 0 \leq r < r_1 \\ \beta(r - r_1) + s_1, & r_1 \leq r < r_2 \\ \gamma(r - r_2) + s_2, & r_2 \leq r \leq 255 \end{cases}$$

Observații:

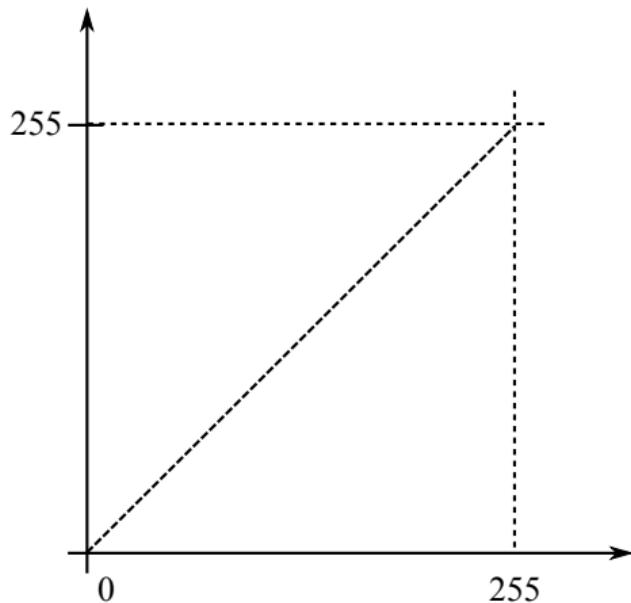
- $r_1 = s_1$ și $r_2 = s_2 \Rightarrow$ transformarea identică.
- $r_1 = r_2$, $s_1 = 0$ și $s_2 = 255 \Rightarrow$ funcția de thresholding care produce o imagine binară.
- T trebuie să fie crescătoare peste tot.

Operatori afini pe porțiuni - Exercițiul 1



Care este funcția de transformare corespunzătoare figurii alăturate?

Operatori afini pe porțiuni - Exercițiul 2

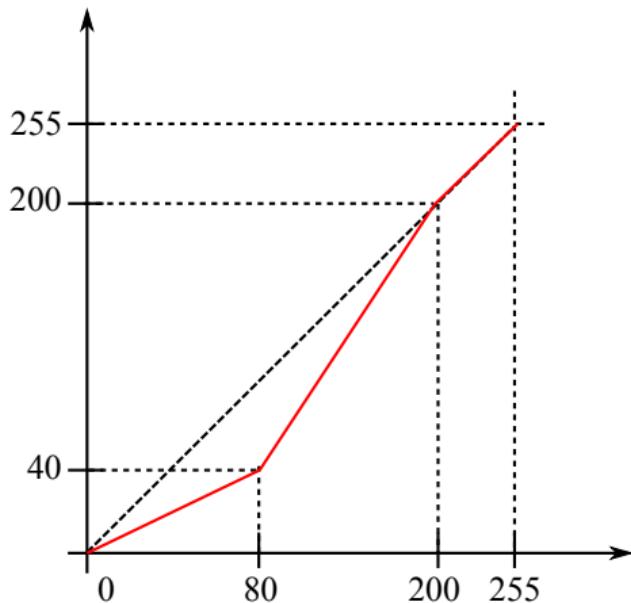


Dați exemplu un operator liniar pe porțiuni care să ducă la:

- scăderea luminozității în intervalul $[0, 80]$,
- la creșterea contrastului în intervalul $[80, 200]$ și
- la nemodificarea imaginii în intervalul $[200, 255]$.

Intervalele sunt considerate în imaginea originală.

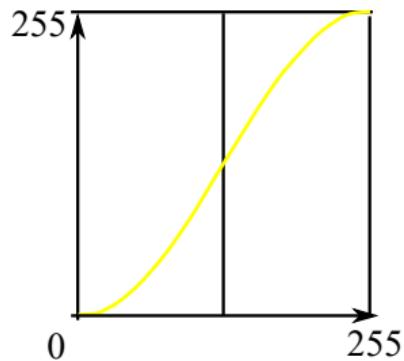
Operatori afini pe porțiuni - Exercițiul 2 - soluție posibilă



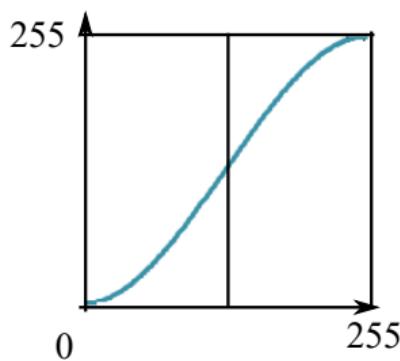
$$T_I(r) = \begin{cases} 0.5r, & 0 \leq r < 80 \\ \frac{4}{3}(r - 50), & 80 \leq r < 200 \\ r, & 200 \leq r \leq 255 \end{cases}$$

Modificarea contrastului - Operatori neliniari

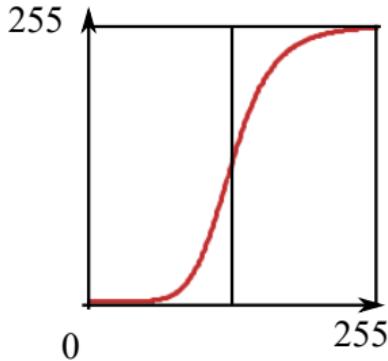
Operator sinusoidal



Operator polinomial



Operatorul:



$$T_{n1}(r)=\alpha[\sin(\beta r+\gamma)+1]$$

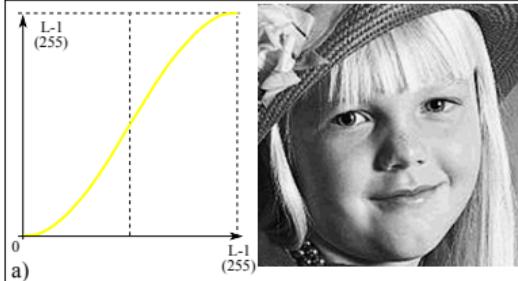
$$T_{n2}(r)=ar^3+br^2$$

$$T_{n3}(r)=255 \left(\frac{r^E}{r^E + m^E} + cr \right)$$

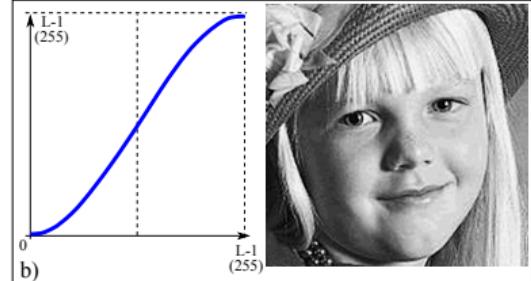
Modificarea contrastului - Operatori neliniari



Imagine originală



a)



b)



c)

Figure: a) Operatorului T_{n1} ; b) Operatorul T_{n2} ; c) Operatorul T_{n3} cu $m = 127,5$ și $E = 2,5$;
 $m = 127,5$ și $E = 3,5$; $m = 50$ și $E = 2,5$.

Modificarea luminozității și a contrastului - Imagini color



Imagine originală



Imagine după aplicarea gamma
pe fiecare canal de culoare, cu gamma=0.5

Modificarea luminozității și a contrastului - Imagini color



Gamma: green 0.8, blue 1.2



Gamma: red 0.65

Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelele de gri $[0, \dots, 255]$ și n - numărul total de pixeli ai imaginii.

Histograma: funcție $H : \{0, \dots, 255\} \rightarrow \mathbb{N}$

$$H(k) = n_k$$

n_k = nr. de pixeli de culoare k

Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelele de gri $[0, \dots, 255]$ și n - numărul total de pixeli ai imaginii.

Histograma: funcție $H : \{0, \dots, 255\} \rightarrow \mathbb{N}$

$$H(k) = n_k$$

n_k = nr. de pixeli de culoare k

Histograma relativă: funcție $h : \{0, 1, \dots, 255\} \rightarrow [0, 1]$

$$h(k) = H(k)/n,$$

Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelele de gri $[0, \dots, 255]$ și n - numărul total de pixeli ai imaginii.

Histograma: funcție $H : \{0, \dots, 255\} \rightarrow \mathbb{N}$

$$H(k) = n_k$$

n_k = nr. de pixeli de culoare k

Histograma relativă: funcție $h : \{0, 1, \dots, 255\} \rightarrow [0, 1]$

$$h(k) = H(k)/n,$$

- h funcție de repartiție

Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelele de gri $[0, \dots, 255]$ și n - numărul total de pixeli ai imaginii.

Histograma: funcție $H : \{0, \dots, 255\} \rightarrow \mathbb{N}$

$$H(k) = n_k$$

n_k = nr. de pixeli de culoare k

Histograma relativă: funcție $h : \{0, 1, \dots, 255\} \rightarrow [0, 1]$

$$h(k) = H(k)/n,$$

- h funcție de repartiție
- $h(k)$ probabilitatea de apariție a nivelului k .

Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelele de gri $[0, \dots, 255]$ și n - numărul total de pixeli ai imaginii.

Histograma: funcție $H : \{0, \dots, 255\} \rightarrow \mathbb{N}$

$$H(k) = n_k$$

n_k = nr. de pixeli de culoare k

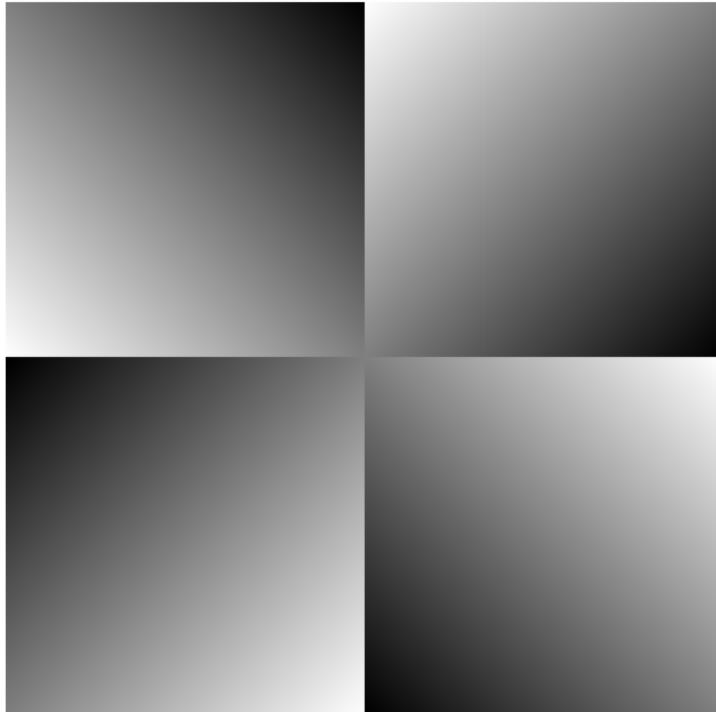
Histograma relativă: funcție $h : \{0, 1, \dots, 255\} \rightarrow [0, 1]$

$$h(k) = H(k)/n,$$

- h funcție de repartiție
- $h(k)$ probabilitatea de apariție a nivelului k .

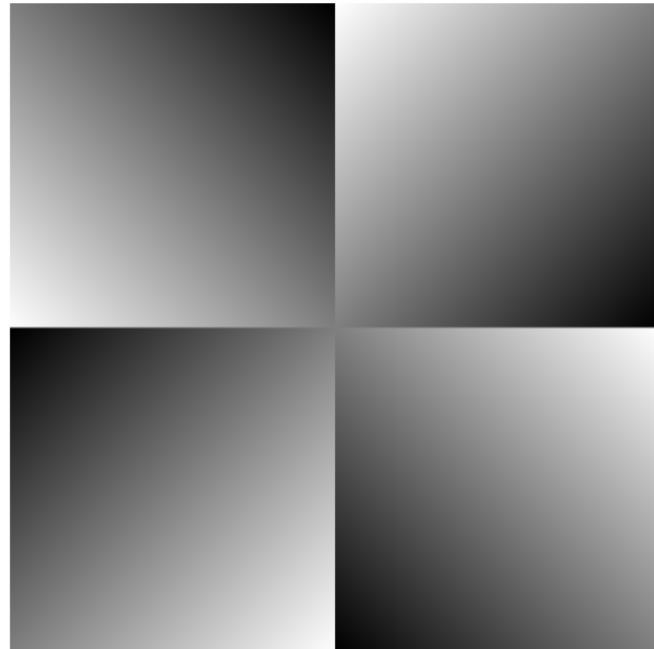
Probabilitate : putem nota $p(k) := h(k)$ = probabilitatea intensității k

Histograma



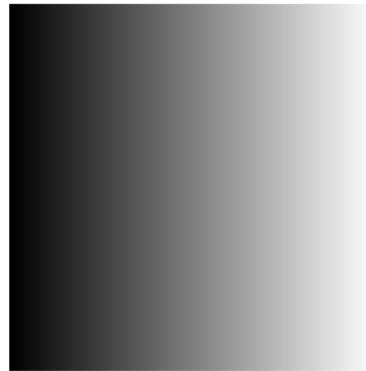
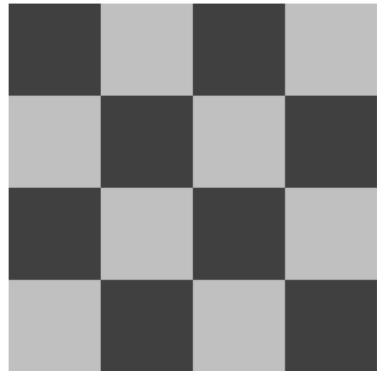
Cum arată histograma?

Histograma - Exemplu



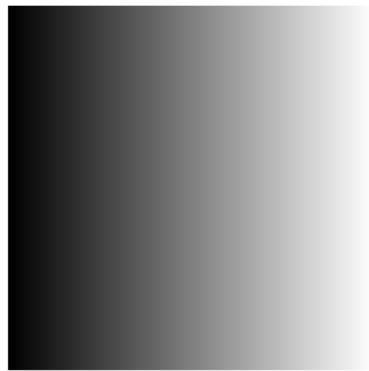
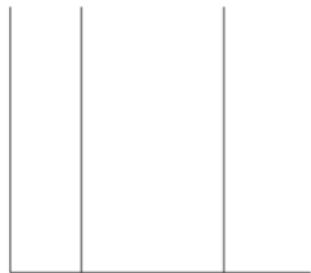
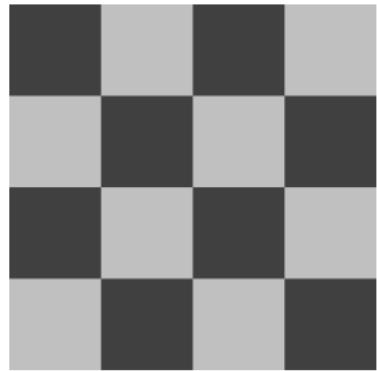
Histograma

Histograma



Cum arată histogramele?

Histograma - Exemplu



Tipuri de histogramă

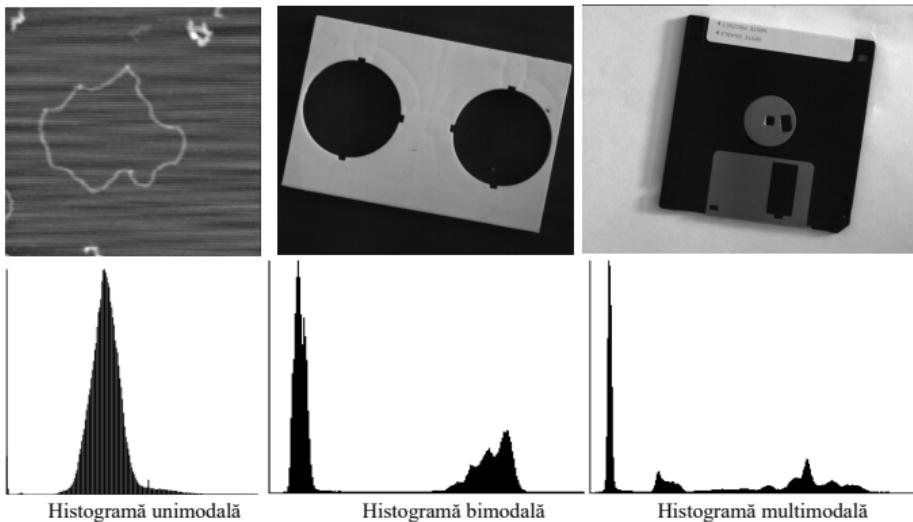


Figure: a) Histogramă unimodală; b) Histogramă bimodală; c) Histogramă multimodală.

Tipuri de histograma

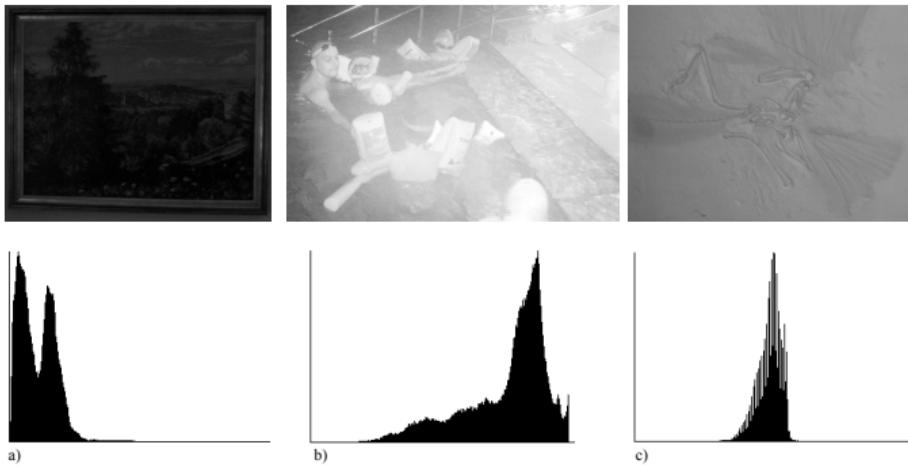


Figure: a) Imagine sub-expusă împreună cu histograma sa; b) Imagine supraexpusă împreună cu histograma sa; c) Imagine cu contrast slab împreună cu histograma sa.

Egalizarea histogramamei

- Ameliorează calitatea imaginii - creșterea contrastului, uniformizarea histogramamei.
- Are la bază de distribuție cumulativă dată de:

$$F_s(k) = \int_0^k p(t)dt$$

Pentru imagini probabilitatea unui nivel de gri t este $p(t)$ dat de histograma reală.

$$p(t) := h(t) = \frac{n_t}{n} = \frac{H(t)}{\sum_{i=0}^{255} H(i)}$$

Egalizarea histogramamei

Histograma cumulativă - probabilitatea unei valori din intervalul $[0, k]$

$$p_c(k) = \sum_{j=0}^k p(j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

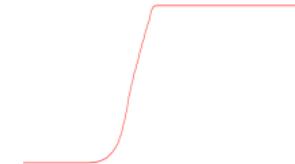
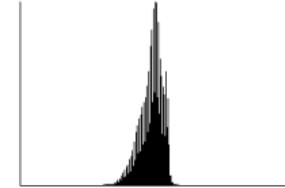
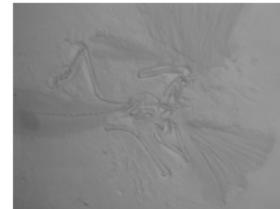
Transformarea de egalizare a histogramamei

$$T(k) = 255 * p_c(k), k = \overline{0, 255}$$

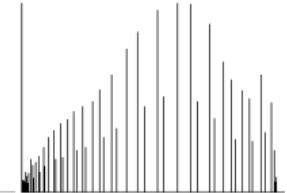
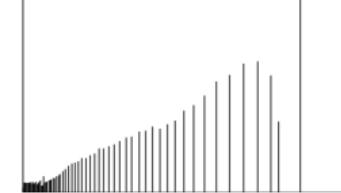
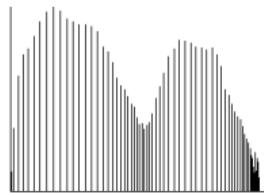
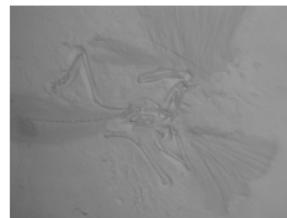
Transformarea culorilor în intervalul $[0, 255]$

$$T(k) = 255 * \left(\frac{h_c(k) - h_c(0)}{1 - h_c(0)} \right), k = \overline{0, 255}$$

Egalizarea histogramamei - Exemple



Egalizarea histogramamei - Exemple



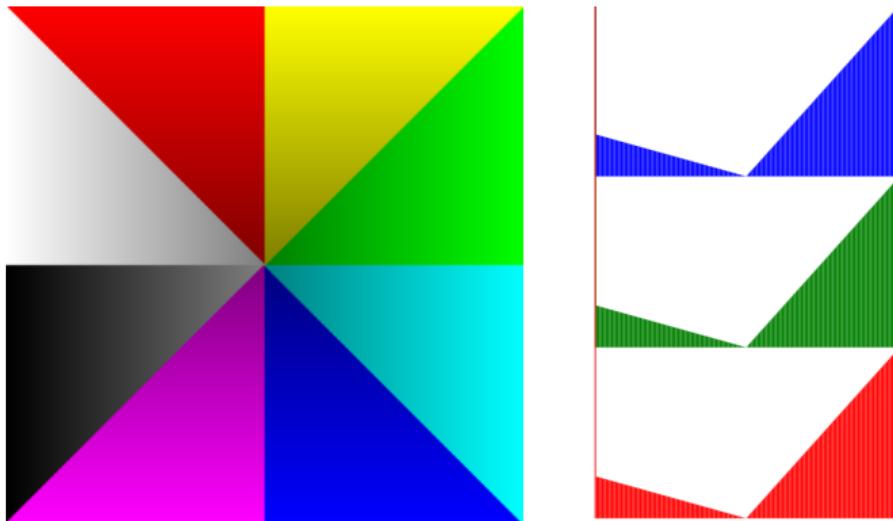
Histograma color



Imaginea: 256×256 , valorile merg de la 128 la 255 din centru către margine cu excepția zonei de "negru", care merge de la 0 la 127.

Cum arată histograma pe cele 3 canale?

Histograma color

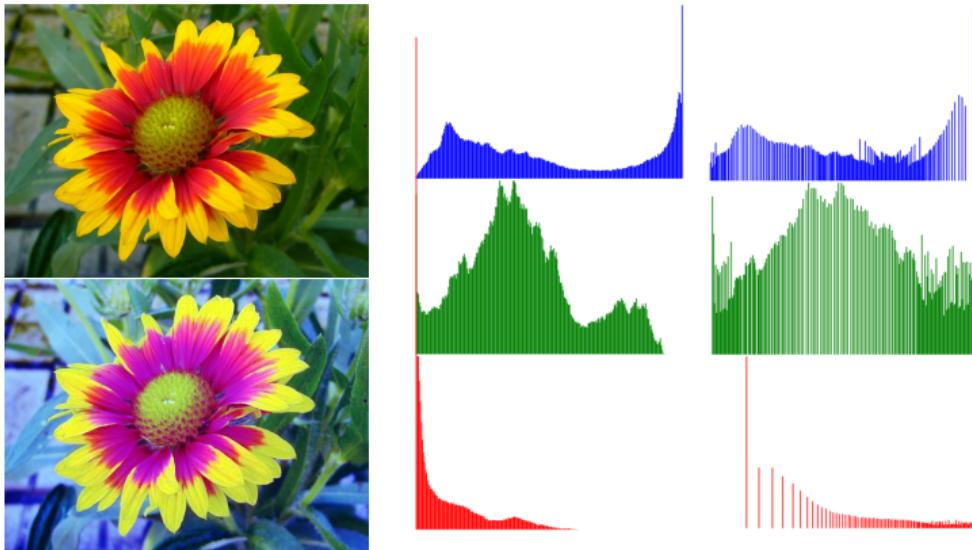


Egalizarea histogramamei - Imagini color

Cum se poate realiza egalizarea histogramamei pe imagini color?

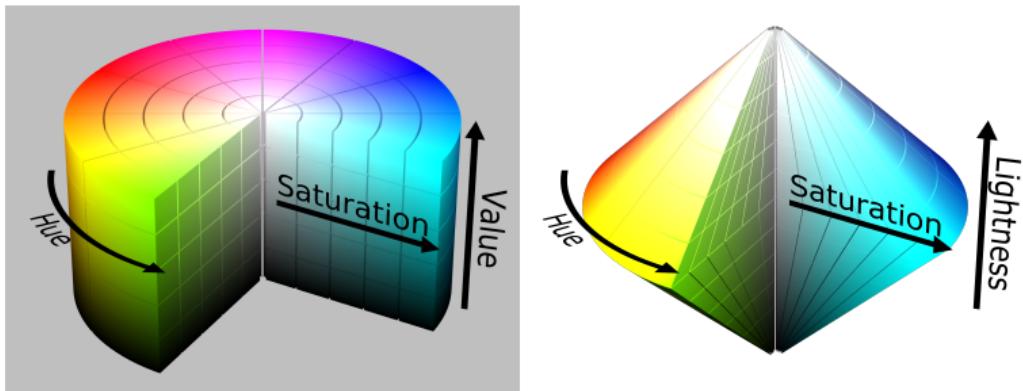
Egalizarea histogramei - Imagini color

Prima idee: egalizare pe fiecare canal RGB...



Egalizarea histogramamei - Imagini color

Cum se face: în alt spațiu de culoare, eg HSV / HSL



<https://commons.wikimedia.org/wiki>

Egalizarea histogramei - Imagini color

Cum se face: în alt spațiu de culoare, eg HSV / HSL



HSV



HSL

Egalizarea histogramamei - Imagini color



Egalizarea histogramamei pe trei canale și în spațiul HSV.

Rezumat

- Operații punctuale - funcții de transformare a nivalelor de gri.
- *Look-up table*
- Negativul unei imagini
- Modificarea luminozității și a contrastului
 - Operatori liniari
 - Operatorul logaritmice
 - Operatorul Gamma
 - Operatori liniari pe porțiuni
 - Operatori neliniari pentru mărirea contrastului
- Modificarea în imagini color pe cele 3 canale
- Histograma - egalizarea histogramei în imagini monocrome / color