

Operații punctuale



1 Introducere

În multe situații, înaintea efectuării unor operații complexe de segmentare, respectiv recunoaștere de obiecte în imagini digitale, este necesară procesarea acestora pentru a obține imagini potrivite efectuării operațiilor dorite. Augmentarea /îmbunătățirea imaginilor urmărește astfel în principal transformarea imaginilor într-un mod convenabil, potrivit scopului urmărit. Modul în care această procesare are loc, depinde în mod semnificativ de acest scop și este astfel orientat pe aplicație.

Atunci când o imagine este augmentată pentru percepția și interpretarea vizuală, procedeul este subiectiv, depinzând de aprecierea utilizatorului. În cazul procesării pentru evaluare și operare automată, de exemplu recunoaștere automată de obiecte, calitatea augmentării este dată de performanța algoritmului, respectiv de nivelul de eroare în recunoaștere produs de către acesta.

Tehnicile de îmbunătățire a imaginii pot fi clasificate în două mari categorii:

1. Tehnici în domeniul spațial: acestea cuprind operații și transformări care se aplică direct asupra pixelilor imaginii.
2. Tehnici în domeniul frecvență: acestea se referă la operații / transformări efectuate asupra transformatei Fourier / Wavelet sau a altrei transformate a imaginii, care se vor reflecta implicit și asupra imaginii obținute prin transformarea inversă.

În cele ce urmează vom discuta diferite tehnici de augmentare / îmbunătățire a imaginii în domeniul spațial. Vom reveni într-un curs ulterior asupra transformatei Fourier și a tehnicilor în domeniul frecvență.

Capitolul de față prezintă

- Operatori pentru modificarea luminozității și a contrastului pentru imagini graysacle și color (rgb)
- Histograma
- Operația de egalizare a histogramei



2 Competențe conferite

La sfârșitul acestui curs, studenții vor fi capabili să înțeleagă:

- Modul de definire a unor operatori pentru modificarea luminozității și a contrastului și interpretarea acțiunii acestora pe o imagine
- Ce este histograma și cum se calculează
- Operatorul de egalizare a histogramei pentru imagini în tonuri de gri și color.



3 Durata medie de studiu individual

Parcurserea de către studenți a acestei unități de învățare se face în 2-3 ore

O transformare / operație în domeniul spațial poate fi exprimată în mod formal printr-o expresie de tipul:

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

în care $f(x, y)$ reprezintă imaginea originală, $g(x, y)$ reprezintă imaginea rezultat, iar T un operator care poate opera pe o vecinătate a pixelului (x, y) .

O vecinătate a unui pixel (x, y) este în general centrată în acest pixel și cel mai adesea are o formă pătrată de dimensiune $(2k + 1) \times (2k + 1)$ sau dreptunghiulară $(2k + 1) \times (2l + 1)$. Există și vecinătăți de alte forme, de exemplu circulare, dar sunt folosite mai rar datorită unei complexități de implementare mai mare.

4 Operații punctuale

Atunci când vecinătatea asupra căreia se operează se reduce la pixelul (x, y) vorbim de operații punctuale. În acest caz nivelul de gri al pixelului $g(x, y)$ din imaginea rezultat depinde exclusiv de valoarea pixelului $f(x, y)$ din imaginea originală. Astfel de transformări se numesc și transformări de niveluri de gri - *gray level transforms* - sau mapări de niveluri de gri - *gray level mapping*. În acest caz putem scrie transformarea

$$s = T(r)$$

unde r reprezintă nivelul de gri original și s reprezintă nivelul de gri rezultat din r după aplicarea operatorului T .

4.1 Look-up table

Complexitatea de procesare a imaginii poate fi redusă dacă, în loc să aplicăm transformarea T asupra fiecărui pixel din imagine, se construiește inițial un *look-up table*. Acest lucru presupune

- calcularea funcției $T(r)$ pentru fiecare $r \in \{0, 1, \dots, L - 1\}$, L =numărul de niveluri de gri din imagine;
- reținerea valorilor discrete rezultate într-un vector LUT , cu $LUT[r] = T(r)$, $r \in \{0, 1, \dots, L - 1\}$;
- înlocuirea fiecărui pixel (x, y) cu $LUT[f(x, y)]$.

În cele ce urmează, vor fi prezentate o serie de astfel de transformări.

4.2 Negativul unei imagini

Negativul unei imagini se obține prin

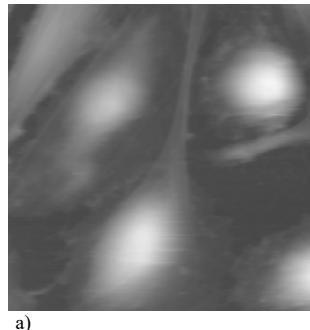
$$s = 255 - r$$

unde r este nivelul de gri inițial, s este nivelul de gri rezultat.

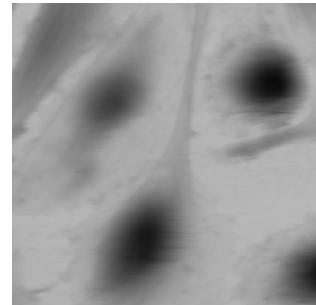
Acest tip de transformare poate fi utilizat, de exemplu, pentru punerea în evidență a unor detalii deschise la culoare aflate pe un fond negru, respectiv închis la culoare sau invers.



Exemplu. Imagine de microscopie atomică reprezentând celule endoteliale (stânga) și negativul acestei imaginii, folosit pentru segmentarea cu algoritmul watershed (dreapta).



a)



b)

4.3 Binarizarea

Binarizarea reprezintă transformarea unei imagini în tonuri de gri (sau color) într-o imagine în care sunt prezente doar două tonuri de gri, de obicei alb și negru. În general binarizarea se realizează printr-o operație de ”prăguire” - *thresholding*. În cazul imaginilor în tonuri de gri, această operație este exprimată matematic prin:

$$T(r) = \begin{cases} 0, & r \leq t \\ 255, & r > t \end{cases}$$

unde t reprezintă pragul (*threshold*) operatorului de *thresholding*. În cazul imaginilor color, operația de thresholding se definește în funcție de scopul urmărit și va fi descrisă pe larg în capitolul de thresholding.

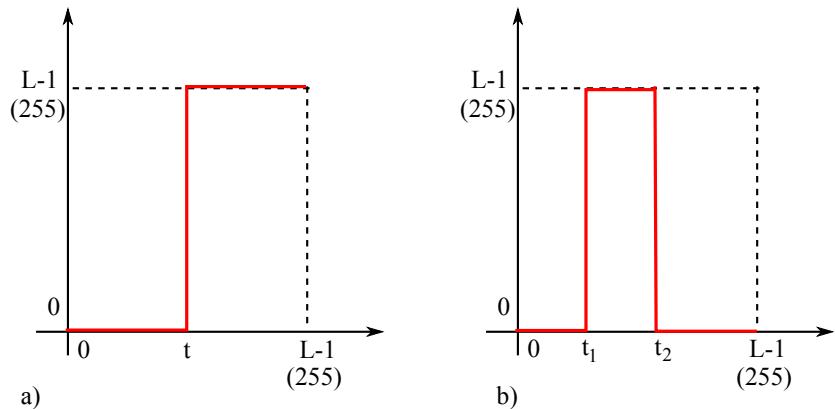


Figura 1: a) Binarizarea cu un prag t . b) Binarizarea cu două praguri t_1 și t_2 .

Există și un operator de binarizare bazat pe două praguri t_1 și t_2 , utilizat atunci când obiectul, respectiv obiectele, de interes au tonuri de gri intermediare:

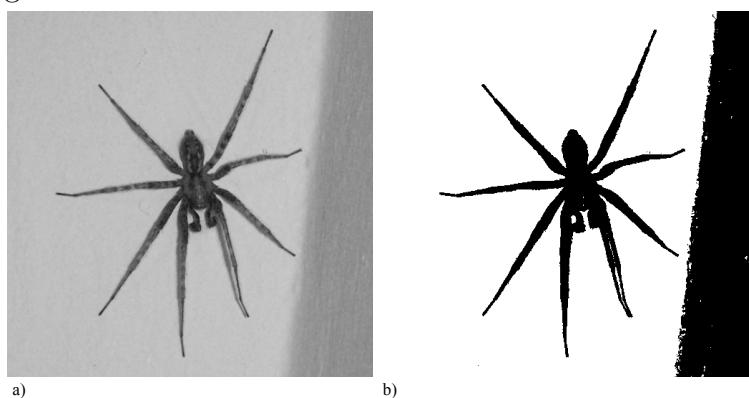
$$T_2(r) = \begin{cases} 0, & r \leq t_1 \\ 255, & t_1 < r \leq t_2 \\ 0, & r > t_2 \end{cases}$$

În fig 1 sunt reprezentăți grafic operatorii $T(r)$ și $T_2(r)$, în care r reprezintă nivelurile de gri din imagine.

De obicei pragul t se determină automat pe baza informațiilor statistice din imagine. În capitolul de thresholding vor fi descrise câteva dintre cele mai utilizate metode de selecție automată a unui prag.



Exemplu: În imagine se poate vedea rezultatul unei operații de thresholding (b) asupra unei imagini în tonuri de gri (a), folosind un prag global automat.



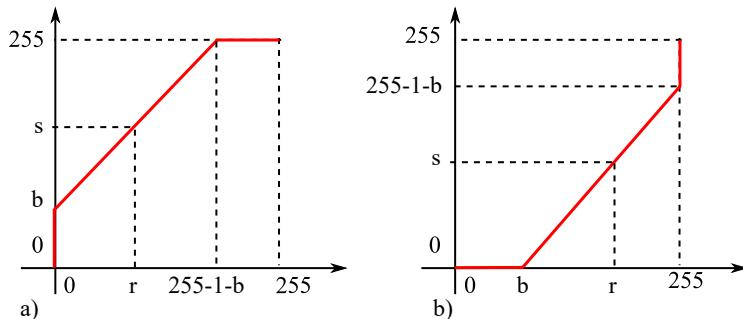


Figura 2: a) Operatorul liniar T_+ de creștere a luminozității. b) Operatorul liniar T_- de scădere a luminozității.



- Implementați operatorul de binarizare în *Framework-ul* primit la laborator. Pentru citirea pragului de binarizare utilizați o casetă de dialog.
- Căutați în documentația online funcția din OpenCV / EmguCV pentru *thresholding*, studiați parametrii funcției și încercați să o folosiți în aplicația dvs.

Prin operația de binarizare are loc partaționarea imaginii în obiect (obiecte) și fundal. În figura din exemplul anterior, reprezentând binarizarea unei imagini în tonuri de gri cu un prag global automat se observă că datorită iluminării neuniforme, o parte din fundal este de culoare mai închisă și valorile se află sub pragul automat, astfel încât separarea obiect/fundal nu este acurată.

4.4 Modificarea luminozității și contrastului unei imagini în tonuri de gri

Prin creșterea/scăderea luminozității unei imagini se înțelege mărirea respectiv micșorarea valorilor de gri ale pixelilor. Prin modificarea contrastului se înțelege modificarea distanței între nivelurile de gri consecutive prezente în imagine. Majoritatea operatorilor implică o modificare atât a luminozității, cât și a contrastului în anumite intervale ale nivelurilor de gri prezente în imaginea originală. Operatorii folosiți pot fi liniari, liniari pe portiuni sau neliniari.

4.4.1 Operatori liniari

1. Operatori liniari cu panta 1 care păstrează contrastul local nemodificat. Transformările sunt date prin:

(a) Operatorul de creștere a luminozității T_+ :

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

(b) Operatorul de scădere a luminozității T_- :

$$T_-(r) = \begin{cases} r - b, & b \leq r \leq L - 1 \\ 255, & \text{altfel} \end{cases}$$

În figura 2 sunt reprezentăți grafic cei doi operatori T_+ și T_- .

Funcțiile corespunzătoare acestor operatori sunt reprezentate grafic în figura 2.



Exemplu



Un exemplu de modificare a luminozității unei imagini în tonuri de gri cu operatorii T_+ și T_- este prezentat în figura de mai sus. Imaginea inițială este a), imaginea în care s-a crescut luminozitatea T_+ , cu $b = 40$ este b), iar cea în care s-a scăzut luminozitatea cu T_- cu $b = 40$ este c).

Observații:

- În cazul aplicării operatorului T_+ , în imaginea rezultat nu mai există valoarea 0, deci se pierde negrul pur. În plus toate nivelurile de gri din imaginea originală, care sunt mai mari decât $255 - b$ se contopesc și devin 255 adică alb.
- În cazul aplicării operatorului T_- , în imaginea rezultat nu mai apare valoarea maximă 255, deci se pierde albul pur. În plus toate nivelurile de gri din imaginea originală, care sunt mai mici decât b se contopesc și devin 0, adică negru.
- În cazul ambilor operatori distanța între niveluri consecutive de gri din imaginea rezultat este aceeași cu distanța între niveluri de gri consecutive în imaginea sursă, deoarece panta dreptei reprezentând operatorul este 1. Acest lucru are ca urmare faptul că, deși luminozitatea crește, respectiv scade, contrastul local din imagine nu se modifică.

2. Operatori liniari de modificare a contrastului și a luminozității. Formula generală este dată de

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

unde a reprezintă panta dreptei și b termenul liber. Un astfel de operator este reprezentat în figura 3. Panta dreptei determină modul în care se modifică contrastul imaginii. Un factor $a > 1$ determină creșterea contrastului, deoarece pentru o pantă mai mare ca 1 distanța dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea procesată este mai mare

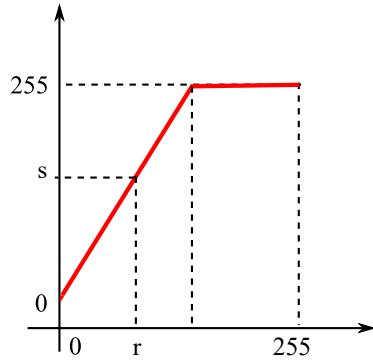


Figura 3: Operator liniar general care modifică luminozitatea și contrastul.

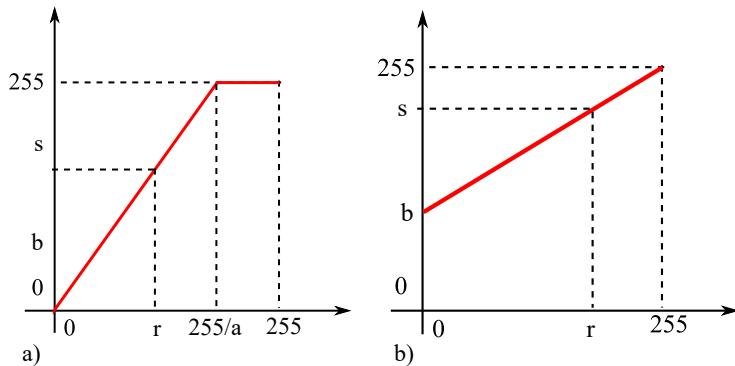


Figura 4: a) Operatorul liniar T_+^0 de creștere a luminozității și a contrastului. b) Operatorul liniar T_+^1 de creștere a luminozități cu scăderea contrastului.

decât cea dintre două nivele de gri consecutive din imaginea sursă. O pantă $0 < a < 1$ duce la efectul contrar de scădere a contrastului, datorită faptului că pentru două culori r_1 și r_2 din imaginea sursă $|r_1 - r_2| > |T(r_1) - T(r_2)|$, adică distanța dintre culorile rezultate este mai mică decât distanța dintre culorile originale.

În cele ce urmează vom prezenta câteva exemple particulare de operatori de acest tip, pentru creșterea și respectiv scăderea luminozității, cu modificarea contrastului.

2.1. Operatori de creștere a luminozității care păstrează albul sau negrul în imagine.

(a) Cu creșterea contrastului și care păstrează negrul, T_+^0 :

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

$a > 1$

(b) Cu scăderea contrastului și care păstrează albul, T_+^1 :

$$T_+^1(r) = ar + b, 0 < a < 1, b > 0$$

Parametrul b se calculează astfel încât $a * 255 + b = 255$.

Acești operatori sunt reprezentați grafic în figura 4.



Exemplu



Un exemplu de modificare a luminozității unei imagini în tonuri de gri cu operatorii T_+^0 și T_+^1 este prezentat în figura de mai sus. Imaginea inițială este a), imaginea în care s-au crescut luminozitatea și contrastul T_+^0 , cu $a = 2$ este b), iar cea în care s-a scăzut contrastul și s-a crescut luminozitatea cu T_+^1 cu $a = 0.5$ și $b = 127.5$ este c).

Observații: În cazul acestor operatori:

- În cazul operatorului T_+^0 distanța dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea procesată este mai mare decât cea dintre două nivele de gri consecutive din imaginea sursă, deoarece panta dreptei este $a > 1$. Acest lucru duce la creșterea contrastului în imagine.
- În cazul operatorului T_+^1 distanța dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea procesată este mai mică decât cea dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea sursă, deoarece panta dreptei este $0 < a < 1$. Acest lucru duce la scăderea contrastului în imagine.
- În cazul operatorului T_+^0 nivelurile de gri $> 255/a$ din imaginea originală se contopesc în imaginea rezultat, devenind 255.
- În cazul operatorului T_+^1 nu există decât niveluri mai mari ca b , deci negrul dispare.

2.2. Operatori liniari de scădere a luminozității care păstrează albul sau negrul în imagine:

- (a) Cu scăderea contrastului și care păstrează negrul, T_-^0 :

$$T_-^0(r) = ar$$

$$0 < a < 1$$

- (b) Cu creșterea contrastului și care păstrează, T_-^1 :

$$T_-^1(r) = \begin{cases} ar - b, & 0 \leq r \leq 255/a \\ 255, & \text{altfel} \end{cases}$$

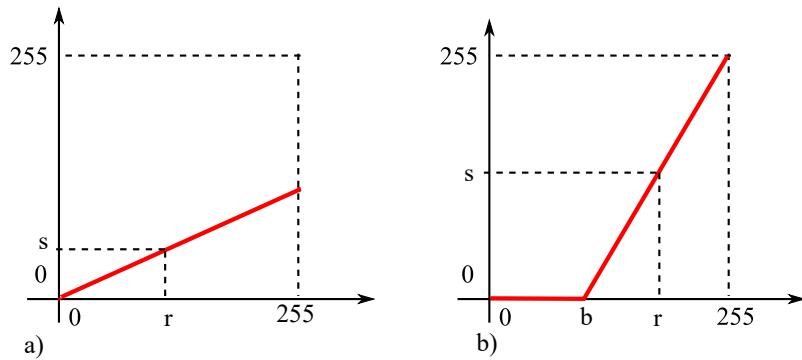


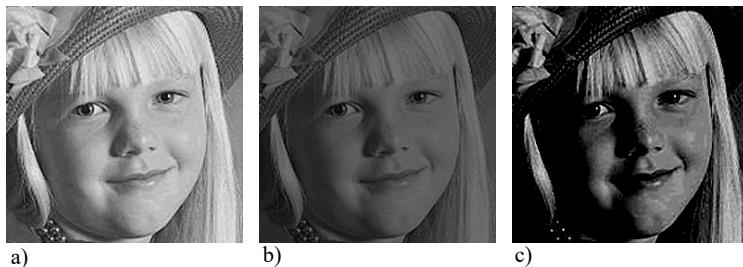
Figura 5: a) Operatorul liniar T_-^0 de scădere a luminozității și creștere a contrastului. b) Operatorul liniar T_-^1 de scădere a luminozități a contrastului.

$$a > 1, b > 0$$

În figura 5 sunt reprezentăți grafic cei doi operatori.



Exemplu



Un exemplu de modificare a luminozității unei imagini în tonuri de gri cu operatorii T_-^0 și T_-^1 este prezentat în figura de mai sus. Imaginea inițială este a), imaginea în care s-au scăzut luminozitatea și s-a crescut contrastul T_-^0 , cu $a = 0.5$ este b), iar cea în care s-au scăzut contrastul și cu T_-^1 cu $a = 2$ și $b = 255$ este c).

Observații: În cazul acestor operatori:

- În cazul operatorului T_-^0 distanța dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea procesată este mai mică decât cea dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea sursă, deoarece panta dreptei este $0 < a < 1$. Acest lucru duce la scăderea contrastului în imagine.
- În cazul operatorului T_-^1 distanța dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea procesată este mai mare decât cea dintre două niveluri de gri consecutive din imaginea sursă, deoarece panta dreptei este $a > 1$. Acest lucru duce la creșterea contrastului în imagine.
- În cazul operatorului T_-^0 nu există alb.

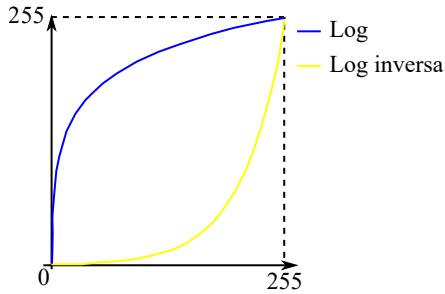


Figura 6: Operatorul logaritmnic și inversul său.

- În cazul operatorului T_+^1 toate nivelurile $< b$ din imaginea sursă devin 0, adică negru.

Dezavantajul major al operatorilor liniari este pe de-o parte că se pierd în imagine ori albul ori negrul, iar pe de altă parte un număr de niveluri de gri se contopesc la una dintre extremitățile valorilor de gri (0 sau respectiv 255). Pentru a depăși aceste limitări pot fi utilizati operatori neliniari, precum operatorii logaritmici sau exponentiali. Aceștia sunt definiți astfel încât valorile extreme 0 și 255 să rămână nemodificate, iar creșterea respectiv scăderea iluminării se reflectă în principal asupra valorilor de gri intermediare.



- Implementați în *Framework-ul* primit la laborator unul dintre operatorii de modificare a luminozității și contrastului prezentati. Folosiți o casetă de dialog pentru citirea parametrului a și calculați parametrul b , astfel încât negru să rămână negru sau alb să rămână alb, în funcție de operatorul ales.
- Căutați în documentația online funcția din OpenCV / EmguCV pentru modificarea de luminozitate și contrast, studiați parametrii funcției și încercați să o folosiți în aplicația dvs.

4.4.2 Operatorul logaritmic

Un operator logaritmic - *log transform* - este definit matematic prin relația:

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

unde c este calculat astfel încât $T_{\log}(255) = 255$, deci albul se păstrează alb. În mod evident $T_{\log}(0) = c \log(1) = 0$, deci negrul rămâne negru. Operatorul logaritmic are ca rezultat creșterea luminozității imaginii.

Pentru scăderea luminozității poate fi utilizat operatorul invers:

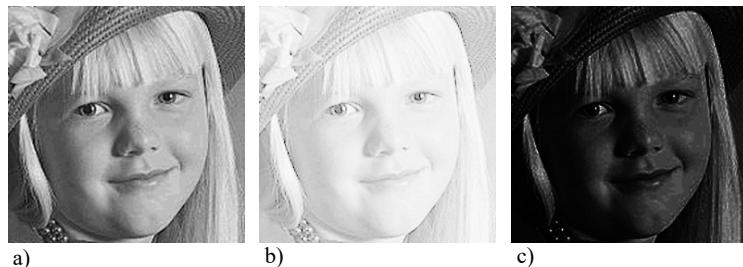
$$T_{exp}(r) = e^{r/c} - 1.$$

În fig. 6 a) este reprezentat grafic operatorul logaritmic, împreună cu operatorul invers.

Se observă faptul că acest operator nu poate fi ajustat. Deci "cantitatea" cu care se mărește/micșorează luminozitatea nu poate fi controlată și depinde exclusiv de valorile din imaginea originală.



Exemplu

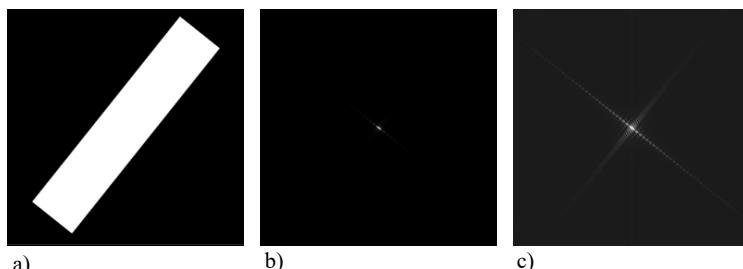


Un exemplu de aplicare a operatorilor logaritmice (b) și exponențiale (c) asupra unei imagini în tonuri de gri (a).

Transformarea log are însă o altă proprietate importantă și anume aceea de a extinde valorile închise din imaginea originală pe un domeniu mai larg în imaginea rezultată și de a comprima valorile deschise (mari) din imaginea originală pe un domeniu mai restrâns în imaginea rezultată, ceea ce se observă bine pe graficul funcției. Acest lucru poate fi utilizat pentru a comprima intervalul de valori atunci când numărul de valori asociate pixelilor din imagine este foarte mare, deci practic nu este reprezentabil. O astfel de situație apare în cazul transformatei Fourier, care va fi discutată într-un curs ulterior, în care spectrul valorilor poate ajunge de la 0 la 10^6 . Astfel simpla scalare a valorilor în domeniul reprezentabil [0, 255] va duce la pierderea unei semnificative cantități de detaliu. Prin transformarea log în schimb pot fi puse în evidență aceste detalii. În exemplul următor este ilustrat acest lucru.



Exemplu



În figura de mai sus, asupra imaginii originale (a) se aplică transformata Fourier și se reprezintă grafic spectrul amplitudinilor (b). Se observă că din punct de vedere vizual, doar o regiune restrânsă în jurul originii (aflată în centrul imaginii) este semnificativă. Dacă se aplică o transformare log, se observă punerea în evidență a unei zone mult mai mari din punct de vedere vizual - (c).

4.4.3 Operatori exponențiali - Gamma correction

Un operator exponențial:

$$Gamma(r) = a * r^\gamma$$

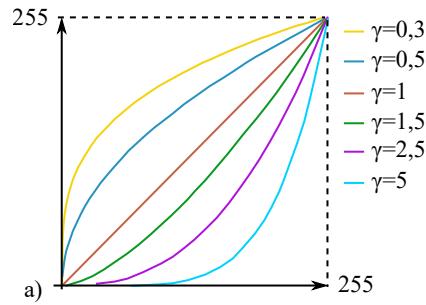


Figura 7: Operatorul Gamma.

poate fi folosit atât pentru creșterea cât și pentru micșorarea luminozității unei imagini. "Cantitatea" cu care se modifică luminozitatea este determinată de către exponentul γ . Coeficientul a este calculat astfel, încât $Gamma(255) = 255$.

- Pentru $\gamma = 1$ se obține transformarea identică.
- Pentru $0 < \gamma < 1$ are loc o creștere a luminozității imaginii. Se expandează tonurile închise pe un interval mai larg de niveluri de gri și se comprimă cele deschise pe un interval mai mic. Contrastul crește cât timp panta curbei este > 1 (adică în regiunile închise), apoi scade (în regiunile deschise).
- Pentru $\gamma > 1$ are loc o scădere a luminozității imaginii. Efect invers ca pentru γ subunitar. Contrastul scade, cât timp panta curbei este subunitară (în regiunile închise), apoi crește (în regiunile deschise).

Valorile 0 și 255 rămân neschimbate.

Se observă faptul că atât la operatorul logaritmic, cât și în cazul gamma correction, distanța dintre două nivele de gri consecutive prezente în imaginea procesată nu este constantă. De asemenea, anumite niveluri de gri se pierd în imaginea procesată, datorită transformării din continuu în discret.

În fig. 7 a) este reprezentat grafic operatorul Gamma pentru diverse valori ale parametrului γ . În continuare sunt prezentate câteva exemple de aplicare a operatorului Gamma asupra unei imagini în tonuri de gri.



Exemple



În figură pot fi văzute exemple de aplicare a operatorului gamma asupra imaginii (a) cu coeficientul (b) $\gamma = 0,3$, (c) $\gamma = 0,5$, (d) $\gamma = 1,5$, (e) $\gamma = 2,5$.

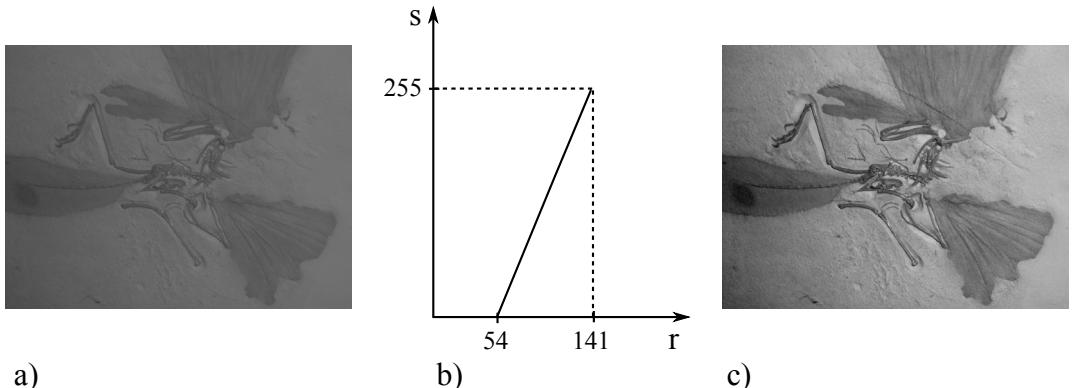


Figura 8: a) Imaginea originală. b) Operatorul de transformare. c) Imaginea rezultat.



To Do

Implementați operatorul Gamma în *Framework-ul* de la laborator. Folosiți o casetă de dialog sau un *slider* pentru introducerea parametrului γ . Testați rezultatele pentru valori diferite ale parametrului γ .

4.5 Modificarea contrastului

Modificarea contrastului, iar prin modificare se înțelege de obicei creșterea acestuia, este necesară dacă:

- imaginea are un contrast slab deja de la achiziție, iar acest lucru poate rezulta în urma unei iluminări necorespunzătoare sau a calității sistemului de achiziție.
- prin natura imaginii anumite zone de interes prezintă un contrast slab în raport cu alte regiuni ale imaginii, spre exemplu contrastul dintre diverse țesuturi asemănătoare în imagini medicale.

În general creșterea contrastului în anumite regiuni va avea ca efect secundar micșorarea acestuia în alte regiuni ale imaginii.

Pentru modificarea contrastului în domeniul spațial pot fi folosiți atât operatori afini (liniari pe porțiuni) cât și operatori neliniari. În continuare vom prezenta exemple din fiecare tip.

4.5.1 Creșterea contrastului unei imagini cu iluminare defectuoasă - *Contrast stretching*

În cazul unei iluminări defectuoase se poate obține o imagine cu contrast general scăzut, în care doar nivelurile dintr-un interval redus sunt prezente. De exemplu, în imaginea 8 a) există doar nivelurile din intervalul [54, 141]. O îmbunătățire a contrastului poate fi obținută în această situație printr-o transformare liniară, care transformă intervalul $[r_1, r_2]$ prezent în imagine în intervalul $[0, 255]$. Acest lucru se realizează prin ecuația obținută din

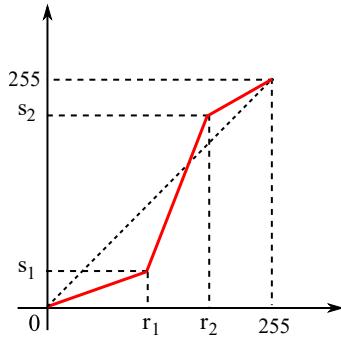


Figura 9: Reprezentare grafică a operatorului de modificare a contrastului afin pe portiuni.

ecuația dreptei prin două puncte:

$$s = 255 \left(\frac{r - r_1}{r_2 - r_1} \right),$$

unde r este nivelul de gri din imaginea originală, iar s nivelul de gri corespunzător din imaginea rezultat. Rezultatul aplicării transformării poate fi vizualizat în figura 8 c).

4.5.2 Operatori afini pe portiuni

Un operator tipic din această clasă poate fi definit prin expresia:

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

unde (r_1, s_1) și (r_2, s_2) controlează forma transformării, iar parametrii α , β și γ se calculează în funcție de aceste puncte.

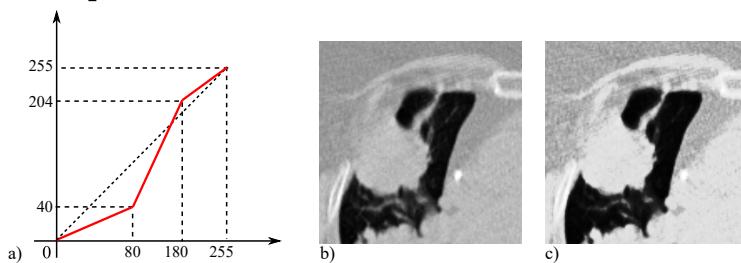
O astfel de transformare este reprezentată grafic în figura 9.

Observații:

- dacă $r_1 = s_1$ și $r_2 = s_2$ atunci se obține transformarea identică și deci nu se produc modificări în imaginea rezultat față de imaginea originală.
- dacă $r_1 = r_2$, $s_1 = 0$ și $s_2 = 255$ atunci se obține funcția de thresholding care produce o imagine binară.
- trebuie avut grijă ca transformarea T să fie crescătoare peste tot, pentru a nu produce artefacte în imagine.



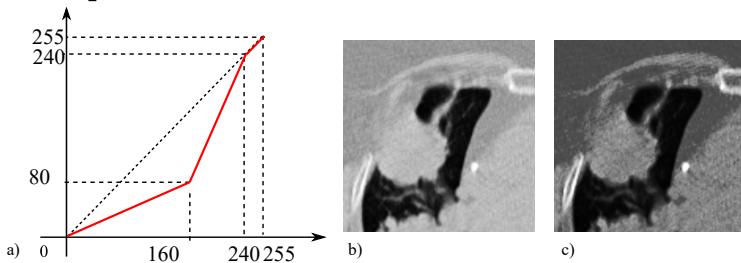
Exemplu



Un exemplu de operator afin pe porțiuni reprezentat grafic în figura (a) aplicat asupra unei imagini medicale (b) produce ca rezultat imaginea (c).



Exemplu



Un al doilea exemplu de operator afin pe porțiuni reprezentat grafic în figura (a) aplicat asupra unei imagini medicale (b) produce ca rezultat imaginea (c).

4.5.3 Operatori neliniari

Operatorii neliniari au avantajul continuității. De asemenea, poate fi mărit caracterul local al modificării de contrast.

În continuare sunt prezentate câteva exemple de transformări neliniare pentru modificarea contrastului:

1. Operator sinusoidal

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

unde $\alpha = 127.5$ și β, γ se determină astfel încât:

- $(0,0)$ minim local
- $(255, 255)$ maxim local
- Nu există alte puncte de extrem în intervalul $[0, 255]$

2. Operator polinomial

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

unde parametrii a și b sunt aleși astfel încât în origine să avem un minim local și în 255 un maxim local.

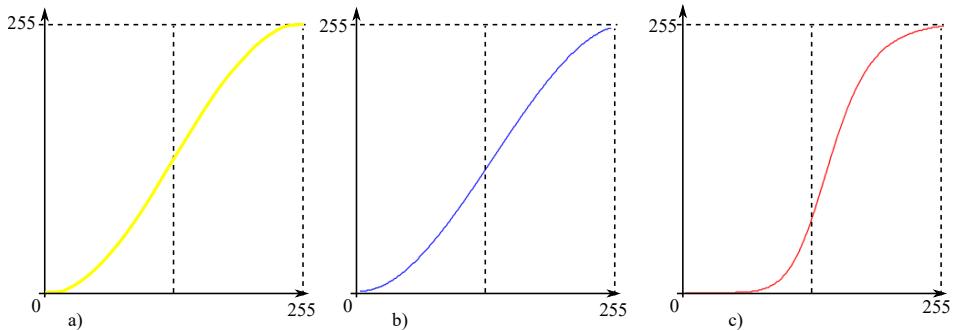


Figura 10: Reprezentarea grafică a a) op T_{n1} ; b) op T_{n2} ; c) op T_{n3}

3. Operatorul:

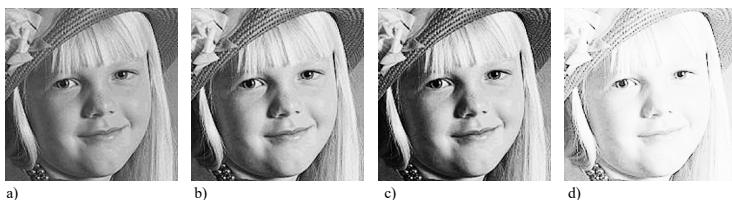
$$T_{n3}(r) = 255 \left(\frac{r^E}{r^E + m^E} + cr \right)$$

unde c este ales astfel încât $T_{n3}(255) = 255$, m = controlează punctul de inflexiune, iar E controlează panta operatorului.

În fig. 10 sunt reprezentări grafice ale celor trei operatori. Se observă faptul că, spre deosebire de primii doi operatori, care au un grad redus de flexibilitate, pentru operatorul T_{n3} , gradul de mărire a contrastului depinde de E , iar regiunea în care are loc acea modificare depinde de m .



Exemplu



În acest exemplu este prezentat rezultatul aplicării operatorului T_{n3} asupra imaginii originale (a) cu urătorii parametri (b) $m = 127.5$ și $E = 2.5$, (c) $m = 127.5$ și $E = 3.5$ și (d) $m = 50$ și $E = 2.5$

4.6 Modificarea luminozității și contrastului unei imagini color

În cazul imaginilor color reprezentate în modelul de culoare RGB, modificarea de luminozitate și contrast se realizează de obicei prin aplicarea operatorilor pentru imagini în tonuri de gri asupra fiecărui canal de culoare în parte. Pot fi modificate toate cele trei canale de culoare cu același operator, sau pot fi aplicați diferenți operatori pe fiecare canal.

În figura 11 este prezentat un exemplu de modificare a luminozității și contrastului cu operatorul Gamma aplicat cu același factor γ pe toate trei canalele de culoare, iar în fig.



Figura 11: a) Imaginea originală. b) Imaginea după aplicarea operatorului Gamma pe cele trei canale cu $\gamma = 0.5$

12 sunt prezentate exemple de aplicare a operatorului Gamma cu factori diferenți pe două, respectiv un canal de culoare.



Să ne reamintim...

- Operatorii pentru modificarea luminozității și contrastului pot fi liniari și neliniari
- Modificarea luminozității și contrastului se realizează prin transformarea paletei de culori după o anumită funcție, în mod independent de poziția spațială a unei anumite culori în imagine.
- Pentru eficientizarea aplicării unei astfel de transformări, se recomandă folosirea unui *Look-up table*
- O funcție de transformare a culorilor produce următoarele efecte într-o imagine în tonuri de gri:
 - În intervalul pentru care panta funcției este mai mică decât 1, contrastul scade
 - În intervalul pentru care panta funcției este mai mare decât 1, contrastul crește
 - Acolo unde graficul funcției este deasupra diagonalei principale a axelor de coordonate (care reprezintă axa culorilor de intrare versus axa culorilor rezultate), imaginea devine mai deschisă (relativ la original)
 - Acolo unde graficul funcției este deasupra diagonalei principale a axelor de coordonate, imaginea devine mai închisă (relativ la original)
 - În cazul imaginilor color operatorii se aplică separat pe cele trei canale de culoare

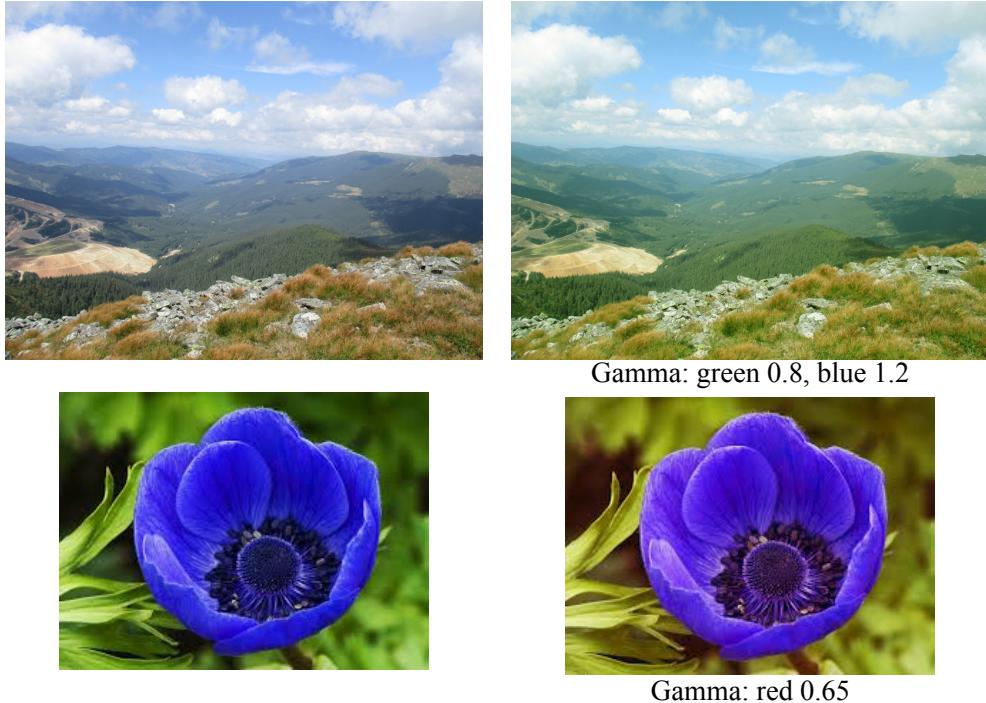


Figura 12: Imagini color asupra cărora s-a aplicat operatorul Gamma în mod diferit pe diferitele canale de culoare

5 Histograma

Considerăm o imagine $f(x, y)$ cu nivelurile de gri $[0, 255]$ și n numărul total de pixeli. Atunci histograma se definește ca fiind funcția discretă

$$H : [0, 255] \rightarrow \mathbb{N}, H(k) = n_k,$$

unde n_k = numărul de pixeli de culoare (nivel de gri) k din imagine.

Histograma relativă

$$h : [0, 255] \rightarrow \mathbb{N}, h(k) = H(k)/n,$$

reprezintă frecvența de apariție a unui anumit nivel de gri în imagine, relativ la numărul total de pixeli. Histograma relativă poate fi privită ca o funcție de repartiție, iar valoarea $h(k)$ poate fi considerată probabilitatea de apariție a nivelului k și o putem nota cu $p(k):=h(k)$ (p pentru probabilitate).

Observație. Vom folosi în continuare notația p pentru histograma normalizată (relativă) și H pentru histogramă.

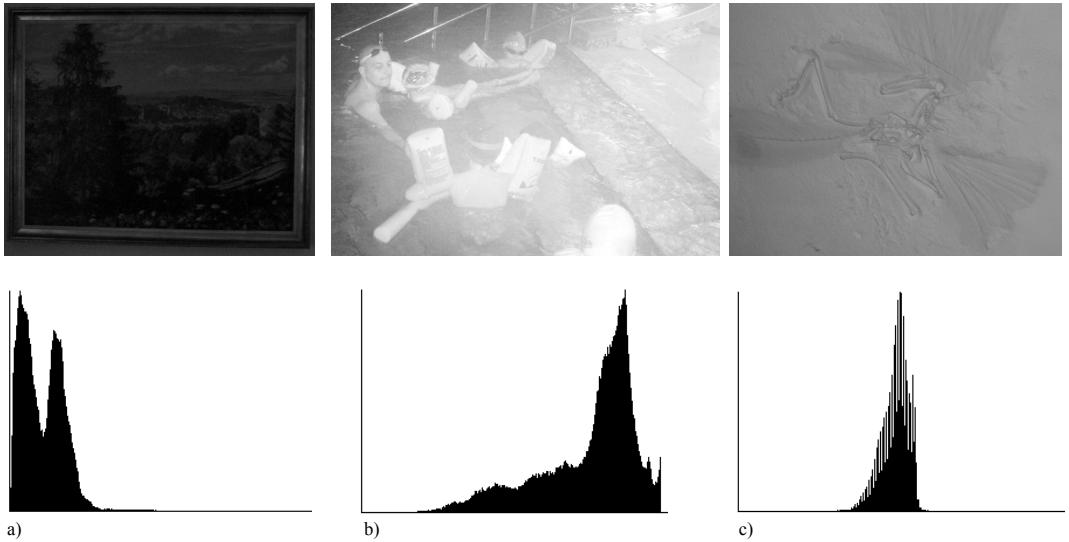


Figura 13: a) Imagine sub-expusă împreună cu histograma sa; b) Imagine supraexpusă împreună cu histograma sa; c) Imagine cu contrast slab împreună cu histograma sa.

Se observă ușor faptul că:

$$\sum_{k=0}^{255} p(k) = 1.$$

Histograma permite extragerea de informații statistice, care pot fi utilizate pentru diferite operații de procesare în domeniul spațial, de exemplu în compresie sau segmentare. În cursul de față vom utiliza histograma în procesul de îmbunătățire a imaginii, pentru imagini cu contrast slab sau iluminare necorespunzătoare. În cursul următor, vom vedea cum pot fi obținute informațiile din histogramă pentru binarizarea automată a imaginilor.

În figura 13 sunt prezentate câteva tipuri de imagini împreună cu histogramele asociate.

Se observă faptul că, în cazul unei imagini întunecate (sub expuse) componentele histogramei se acumulează în zona valorilor mici ale nivelurilor de gri, iar în cazul imaginilor prea deschise (supra expuse) componentele histogramei se acumulează în regiunea valorilor mari ale nivelurilor de gri. Pentru imaginile cu contrast redus - ex: fig. 13 c), componentele histogramei sunt acumulate într-un interval relativ mic de niveluri de gri.

O repartizare a histogramei pe tot domeniul valorilor se poate obține prin operația de egalizare a histogramei.

5.1 Egalizarea histogramei imaginilor în tonuri de gri

Această operație are la bază funcția de distribuție cumulativă:

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

unde $p(t)$ reprezintă probabilitatea / histograma relativă. Datorită faptului că lucrăm cu funcții discrete, integrala devine sumă. Astfel se obține histograma cumulativă / probabilitatea cumulativă:

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

unde k , reprezintă nivelul de gri curent, n_j reprezintă numărul de pixeli cu nivelul de gri j , iar n reprezintă numărul total de pixeli din imagine.

Transformarea care produce egalizarea histogramei este:

$$T(k) = (L - 1)p_c(k), k = \overline{0, L - 1}$$

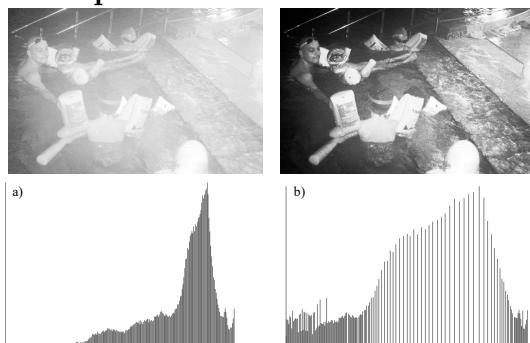
unde L este nivelul maxim prezent în imagine.

Dacă se dorește extinderea plajei de valori în intervalul $[0, 255]$, atunci formula devine:

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



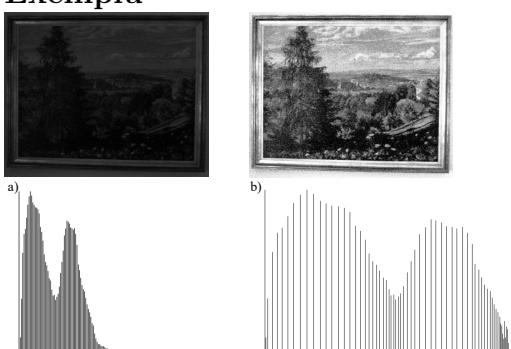
Exemplu



În acest exemplu (b) reprezintă rezultatul egalizării histogramei imaginii (a) cu extinderea nivelurilor de gri la intervalul $[0, 255]$. Pentru ambele imagini - sursă rezultat sunt ilustrate și histogramele corespunzătoare.



Exemplu



Un al doilea exemplu de egalizare a histogramei asupra unei imagini subexpus (a) este prezentat în figura de mai sus (b).

To Do:

To Do

- Scrieți în *Framework*-ul de la laborator o funcție pentru reprezentarea grafică a histogramei unei imagini în tonuri de gri.
- Implementați operația de egalizare a histogramei pentru imagini în tonuri de gri

5.2 Histograma imaginilor color

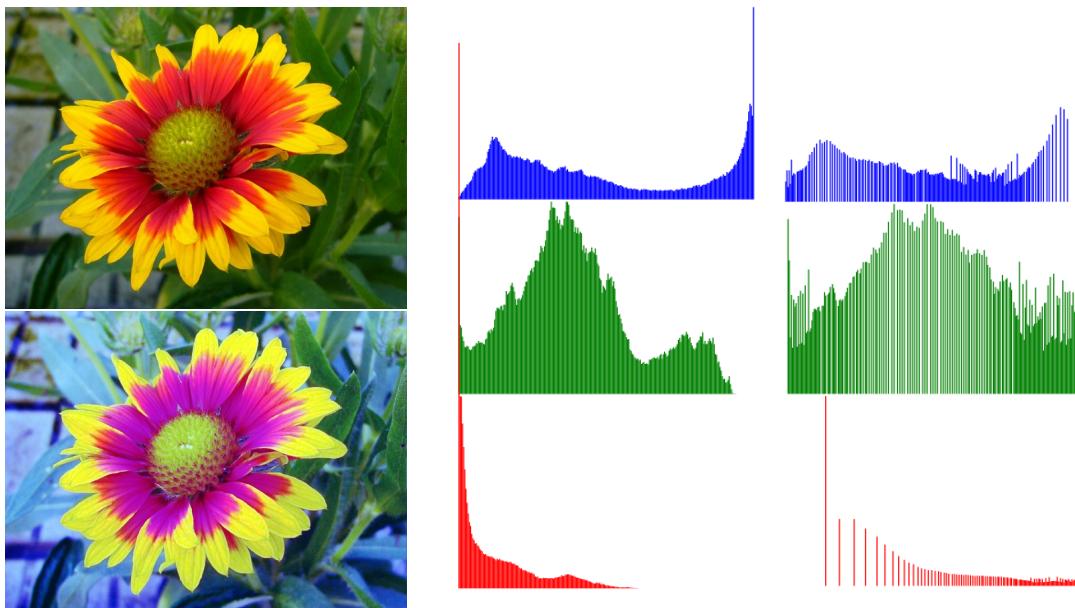


Figura 14: Imagini de test, imaginile rezultate după aplicarea operației de egalizare a histogramei și histogramele imaginilor rezultante.

În cazul imaginilor color nu putem vorbi despre o histogramă. De fapt există câte o histogramă pentru fiecare nivel de culoare, precum și o histogramă ce se calculează pentru componenta de luminozitate a imaginii, care ia în considerare toate trei componentele de culoare.

Într-o imagine color, canalele de culoare sunt în general corelate. Din acest motiv, aplicarea egalizării histogramei pe fiecare canal în parte nu va duce în general la un rezultat satisfăcător.

În figura 14 este prezentată o imagine color, asupra căreia s-a aplicat egalizarea histogramei pe cele trei canale, împreună cu histogramele pe fiecare canal înainte și după operația de egalizare. Se observă faptul că, are loc o modificare a culorilor destul de dezagreabilă.

În general o operație de egalizare a histogramei pentru imagini color se realizează în alt spațiu de culoare, de exemplu HSV sau HSL, și anume doar pe componenta de luminozitate. Componenta de culoare, HUE, rămâne nemodificată, pentru a nu modifica

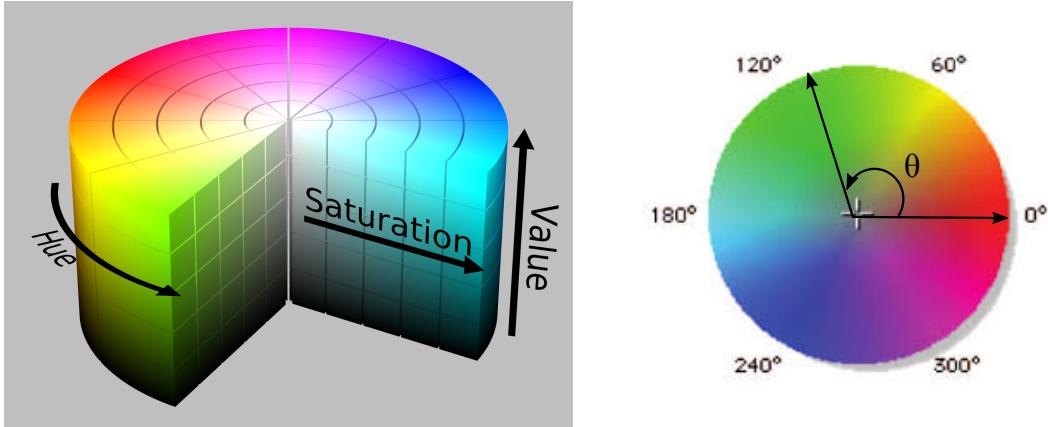


Figura 15: Modelul de culoare HSV. Componența *Hue* - datează de unghiul θ față de culoarea de referință roșu

tonurile de culoare.

Modelul de culoare HSV

Cele trei componente ale modelului de culoare HSV sunt:

- *Hue* - reprezintă tonul culorii și este datează ca valoare a unghiului pe care îl face componenta respectivă față de culoarea de referință, care este roșu pur (unghiul 0°). Verdele pur se află la unghiul 120° , iar albastru la 240° .
- *Saturation* - reprezintă saturarea culorii, care descrie cantitatea de gri într-o culoare particulară, datează în procente de la 0 la 100%. Reducerea acestei componente înspre 0 introduce mai mult gri și produce un efect de culoare ștersă. Saturația reflectă de fapt raportul componentei principale de culoare relativ la celelalte două componente.
- *Value* - este datează tot în procente și descrie luminozitatea culorii. 0 reprezintă negru iar 100 luminozitatea maximă.

În figura 15 este reprezentat modelul de culoare HSV.

Formulele de transformarea din modelul RGB în modelul HSV și invers au fost prezentate în capitolul 1 la secțiunea Modele de culoare.



Exemplu



HSV



HSL

Figura de mai sus prezintă un exemplu de egalizare a histogramei pe imagini color, în spațiile de culoare HSV și HSL, pe componenta de luminozitate V , respectiv L .

Există numeroase alte operații punctuale utile pentru îmbunătățirea imaginii și evidențierea anumitor elemente sau detaliilor de interes, precum operații aritmetice - de exemplu *image subtraction* - sau de histogramă - de exemplu *histogram matching* - , dar acestea depășesc cadrul acestui curs. În literatură pot fi găsite detalii referitoare la aceste tipuri de operații.



Recapitulare

În acest capitol au fost discutate câteva:

1. Binarizarea
2. Modificarea luminozității și contrastului
 - Operatori liniari
 - Operatori neliniari
 - Operatori afini pe portiuni
3. Histograma și operația de egalizare a histogramei