Algorytmy Przetwarzania Obrazów

Obraz i jego histogram

WYKŁAD 1
Dla studiów stacjonarnych 2021/2022

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. IBIB PAN

Zaliczenie przedmiotu Algorytmy Przetwarzania Obrazów (APO)

- 7 wykładów omawiających implementację funkcjonalności obowiązkowych i ponadobowiązkowych w aplikacji na zaliczenie;
- 8 laboratoriów, na których będzie budowana, rozwijana i sprawdzana aplikacja do przetwarzania obrazów (praca indywidualna);
- Dodatkowo projekt egzaminacyjny w formie dodatkowych funkcjonalności w aplikacji rozwijanej w czasie laboratoriów lub oddzielnej aplikacji - do wyboru na następnym wykładzie

Aplikacja

Aplikacja powinna:

- być programem desktopowym z uproszczonym głównym interfejsem użytkownika w postaci typowego menu, ale za to z bardzo intuicyjnym rozbudowanym interfejsem do poszczególnych funkcjonalności;
- wczytywać jednocześnie kilka obrazów monochromatycznych lub/i kolorowych w następujących formatach: tif, png, jpg, bmp;
- obsługiwać funkcjonalność zapisu obrazu z i bez zmiany jego nazwy oraz duplikowania obrazów wczytanych;
- umożliwiać pokazywanie obrazów w kontekście ich histogramów oraz wyników ich przewarzania;
- korzystać z biblioteki OpenCV (inne biblioteki powinny być uzgodnione z prowadzącym zajęcia)

Aplikacja może:

- być napisana w wybranym przez studenta języku programowania i przy użyciu wybranego przez studenta środowiska;
- być rozwijana na własnym komputerze, tak aby można ją była prezentować prowadzącemu w Teams-ach lub bezpośrednio z laptopa na zajęciach, ale na koniec semestru będzie musiała zostać **wgrana na dysk P (oceanik)** do określonego przez prowadzącego katalogu i powinna otwierać się na Aleksandrze i pracować na obrazach demonstracyjnych zgromadzonych przez studenta (problem uzgodnienia wersji oprogramowania).

Ocena z APO

Laboratoria:

Maksymalnie 50 punktów {6*(6+1)+4+4};

Zalicza 26 punktów;

Maksymalna liczba nieobecności: 2

Egzamin:

Maksymalnie 50 punktów;

Zalicza 25 punktów;

Wykłady nie są obowiązkowe, ale na wykładzie 2, 4 i 6 będą przedstawiane, omawiane i konsultowane tematy projektów egzaminacyjnych, które należy wybrać do 29.10.2023 (lab 3)

Zaliczanie całego przedmioty na podstawie sumy punktów z zaliczenia laboratoriów i punktów uzyskanych z projektu egzaminacyjnego (max 100) oceny wystawiane są według skali:

bdb – 91-100; db+ – 81-90; db – 71-80; dst+ – 61-70; dst – 51-60; ndst – mniej niż 51

Przypomnienie definicji i oznaczeń stosownych na POB

Historia dziedziny przetwarzanie obrazów

Rozmiar w pikselach: 1150x1150

Rozdzielczość poziomów szarości: 64

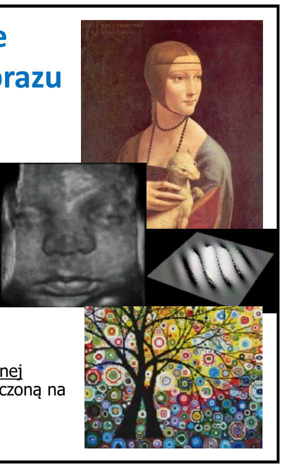
Pole widzenia 8.4x8.4, Kąt 78.3, Dystans 2445.97 km

31 czerwca 1964

Księżyc

http://nssdc.gsfc.na

Przypomnienie ogólnej definicji obrazu



Obraz to …

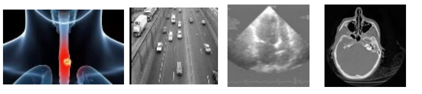
Dwuwymiarowa funkcja mówiąca o wartości pewnej mierzalnej wielkości $f(x, y)$, (najczęściej wartość to określa intensywność światła/luminancję lub intensywność kolorów podstawowych) w miejscu o współrzędnych x, y na ograniczonej, spójnej dwuwymiarowej powierzchni.

Obraz niesie informację o odwzorowywanej rzeczywistości lub o wizji autora, umieszczoną na ograniczonej, dwuwymiarowej i spójnej przestrzeni (2D)

Obraz cyfrowy w naukach technicznych i przyrodniczych to:

Zwarty, jednorodny i przestrzennie uporządkowany zbiór sygnałów:

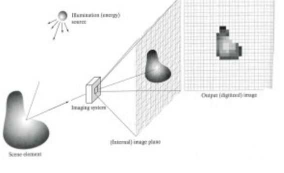
- związanych z cechą/cechami pomiarowymi, na bazie których tworzymy obraz (natężenie fali elektromagnetycznej, akustycznej, wielkości nie falowe np. czas relaksacji)
- dostosowanych do materialnego nośnika obrazu (papieru, kliszy, dyskietki, pamięci dyskowej itp.)
- niosących informację o odwzorowywanej rzeczywistości



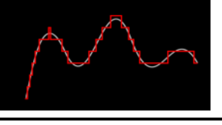
8

Obraz cyfrowy to funkcja f(x, y) podwójnie dyskretna:

- odwzorowuje 3D na **dyskretną** i ograniczoną przestrzeń 2D



- informacja o intensywności **cechy pomiarowej** jest **dyskretna** (skwantowana) i zakodowana



Podstawowe definicje obowiązujące na APO

Obraz to dyskretna dwuwymiarowa funkcja $f(x,y)$ określona na ograniczonym fragmencie płaszczyzny, której wartości f to **intensywność** (jasność, kolor, odbicie lub pochłanianie fali elektromagnetycznej, itp.) w tym punkcie (x, y).

- Dla obrazów szaroodcieniowych wartość f to luminancja jest skalarem
- Dla obrazów kolorowych wartość f to wektor o trzech składowych, określający kolor w wybranej przestrzeni koloru $f=\{f_1, f_2, f_3\}$
- Dla obrazów wielomodalnych i multispektranych wartość f to wielowymiarowy wektor określający różne dane pomiarowe.

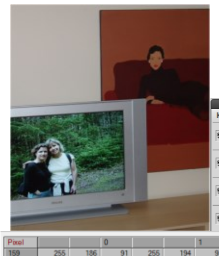
$f \in [L_{min}, L_{max}]$ - skala szarości/intensywności składowej pojedynczego kanału obrazu

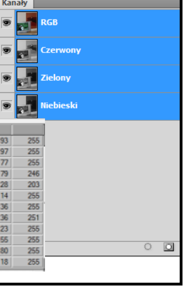
L_{min} = 0, minimalna intensywność odpowiada czerni

L_{max} = maksymalna intensywność odpowiada bieli

M - liczba poziomów szarości $M = L_{max} - L_{min} + 1 \quad M = 2^k$

10

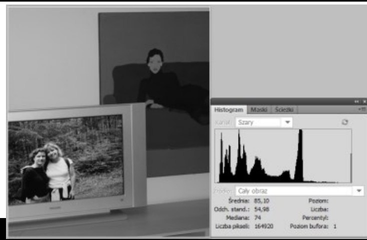




Pixel	0	1	2	3	4
0	88	107	103	101	96
1	77	92	82	83	90
2	91	85	85	91	89
3	98	96	93	93	104
4	101	104	99	96	106
5	96	103	105	95	102
6	94	91	89	92	91
7	80	86	83	77	75

Pixel			0			1	
159	255	186	91	255	194	93	255
160	255	186	88	255	196	97	255
161	255	211	101	255	187	77	255
162	255	197	96	255	172	79	246
163	255	164	74	219	100	28	203
164	237	121	38	209	97	14	255
165	255	141	66	227	102	36	255
166	255	167	94	221	109	36	251
167	255	175	99	222	114	23	255
168	255	146	72	247	135	55	255
169	252	138	59	255	160	80	255
170	255	189	103	255	215	118	255

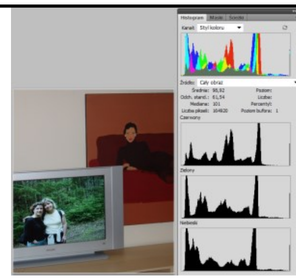
Podstawowa funkcjonalność: wyświetlanie obrazu i jego histogramu



Obraz cyfrowy: *N x N* pikseli.

$$f(x,y)=\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \cdots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

13



$$f_R(x,y)=\begin{bmatrix} f_R(0,0) & f_R(0,1) & \cdots & f_R(0,N-1) \\ f_R(1,0) & f_R(1,1) & \cdots & f_R(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_R(N-1,0) & & & \end{bmatrix}$$

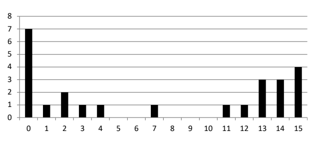
$$f_G(x,y)=\begin{bmatrix} f_G(0,0) & f_G(0,1) & \cdots & f_G(0,N-1) \\ f_G(1,0) & f_G(1,1) & \cdots & f_G(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_G(N-1,0) & & & \end{bmatrix}$$

$$f_B(x,y)=\begin{bmatrix} f_B(0,0) & f_B(0,1) & \cdots & f_B(0,N-1) \\ f_B(1,0) & f_B(1,1) & \cdots & f_B(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_B(N-1,0) & f_B(N-1,1) & \cdots & f_B(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

15

Histogram - rozkład ilości wystąpień pikseli o zadanych poziomach jasności w obrazie

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11



M=16,
Lmin=0,
Lmax=15

Histogram definicja

Histogram to wykres słupkowy przedstawiający ilość pikseli o każdej potencjalnej wartości poziomu jasności lub koloru występującej w obrazie.

– Statystyka odzwierciedlająca rozkład jasności punktów w obrazie.

– Pewna estymata rozkładu jasności oryginalnego obrazu analogowego i rzeczywistości.

Tablica LUT

- Wykorzystywana do:
  - Przekodowania jasności;
  - Definiowania operacji punktowych (UOP)
  - Zapisu histogramu i działania operacji na histogramie

piksel	f(piksel)
0	13
1	34
2	234
…	…
254	11
255	255

13	14	5	13	6	14	8	6	9	8	11	12	7	10	7	7
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Algorytm tworzenia (wyznaczania wartości) histogramu

Algorytm wyznaczania histogramu jest prosty: analizuje każdy piksel obrazu i zlicza piksele o każdym możliwym poziomie jasności.

Oznaczenia: f (P) jest wartością elementu P mieszczącą się w przedziale [0,Lmax]. h jest tablicą histogramu czyli tablicą LUT o rozmiarze M.

Wstaw do tablicy h(Z) (0/1 ≤ Z ≤M/Lmax) wartości zero.

For wszystkich elementów P obrazu **do:**

Begin.

Zwiększ h(f(P)) o 1.

End.

Koniec algorytmu.

Implementacja jest jednak bardziej skomplikowana ze względu na różnorodność typów obrazów: monochromatyczne i kolorowe, wielo-spektralne, itp.
oraz ze względu na założoną prezentację wyniku w postaci wykresu słupkowego (dobór obszaru wykresu, opis osi, opis populacji poziomów jasności, regulację prezentacji wykresu)

Generowanie wykresu słupkowego z tablicy LUT

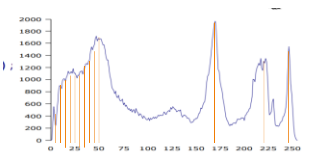
Wyszukaj maksymalna wartość zapisaną w tablicy h – służąca do normalizacji
Przygotuj ramkę histogramu, opis jego osi i wynikającą z nich wartość współczynnika normalizacji h()
Zapamiętaj współrzędne ekranowe początku wykresu (x, y)
For wszystkich elementów tablicy LUT **do: { h(1/0),…, h(M/Lmax)} – zależnie od języka**

Begin.
unormuj wartość - h()
Narysuj odcinek o długości odpowiadającej wartości unormowanej i punkcie zaczepienia w współrzędnych (x, y)
Przesuń współrzędne (x, y);
Kumuluj informacje o parametrach rozkładu statystycznego jasności
End.
Dołącz informacje o rozkładzie statystycznym jasności do wykresu słupkowego
Koniec algorytmu.

Histogram skumulowany

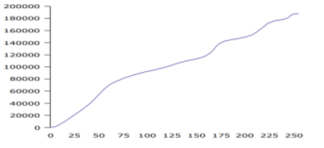
h - histogram

3	7	0	10	5	6	0	5



H – histogram skumulowany (analog do dystrybuanty prawdopodobieństwa)

- H(0) = h(0)
- H(n) = H(n-1) + h(n)



3	10	10	20	25	31	31	36

Algorytm tworzenia histogramu skumulowanego

LUT { h(1/0),…, h(M/Lmax)}

H(0) = h(0)

For wszystkich elementów h histogramu obrazu P **do:**

Begin.

H(H(i-1)+h(i)))

End.

Koniec algorytmu.

Operacje na histogramie

Obrazy zawierają elementy, które są trudne do zauważenia, z powodu słabego zróżnicowana jasności obiektu w stosunku do jasności otoczenia. Podniesienie czytelności obrazu można uzyskać przez manipulacje histogramem

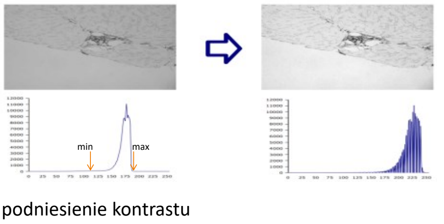
Operacje na histogramach:

1. Linowe rozciąganie (z i bez obcięcia rzadko występujących jasności)
2. Nieliniowe rozciąganie: według funkcji gamma o zadanym parametrze
3. Wyrównywanie według algorytmów zrównania częstotliwości występowanie wszystkich poziomów jasności
4. Wyrównanie typu equalizacja (ang. equalization)

Rozciąganie histogramu (1)

Obrazy, w których nieefektywnie wykorzystujemy dynamikę/zakres odcieni i barw potencjalnie dostępny – liniowe rozciąganie bez obcinania

$$I(x,y) \Rightarrow (I(x,y) - min) \cdot \frac{255}{max - min}$$

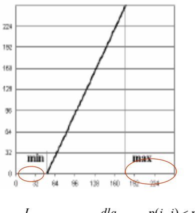


Efekt: podniesienie kontrastu

Liniowe rozciąganie histogramu

Optymalne wykorzystanie zakresu poziomów jasności:

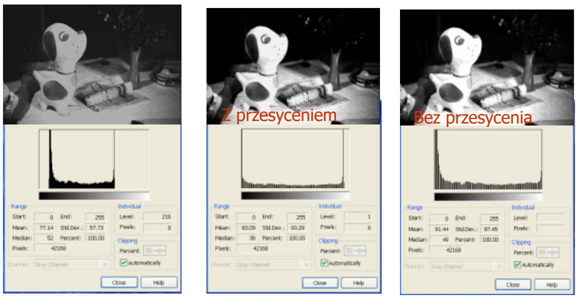
- Zagospodarowanie całego zakresu dostępnych poziomów szarości
- Wykorzystanie skrajnych zakresów do prezentacji zakresów średnich (**mało liczne, nieistotne wartości skrajne**)



$$q(i,j) = \begin{cases} L_{\min} & dla \quad p(i,j) < \min \\ \dfrac{(p(i,j) - \min) * L_{\max}}{\max - \min} & dla \quad \min \le p(i,j) \le \max \\ L_{\max} & dla \quad p(i,j) > \max \end{cases}$$

24

Liniowe rozciąganie histogramu

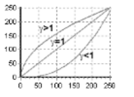


25

Manipulowanie histogramem według funkcji nieliniowych (np. γ - Gamma)

Obrazy, w których nieefektywnie wykorzystujemy pełną dynamikę odcieni i barw dostępna w danym zakresie – nieliniowe rozciąganie bez obcinania np. według funkcji gamma.

$LUT(i)=i^{1/\gamma}$



27

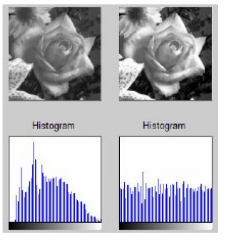
Wyrównywanie histogramu typu Dynamic Histogram Specification (DHS)

według algorytmów zrównania częstotliwości występowanie wszystkich poziomów jasności

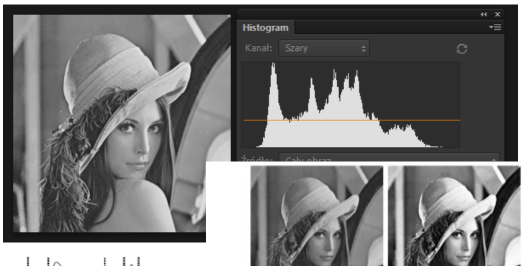
Takie przekształcenia jasności, aby **wszystkie jasności były równomiernie reprezentowane w obrazie.**

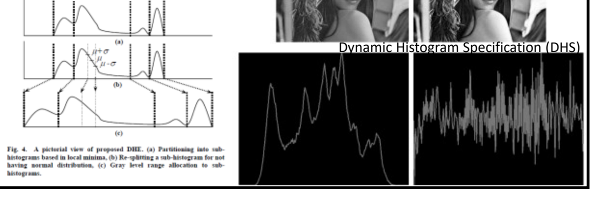
Spłaszczenie – zrównanie ilości wystąpień jasności i ich rozłożenie na osi dostępnych poziomów jasności.

(narzędzie matematyczne to dystrybuanta)



28

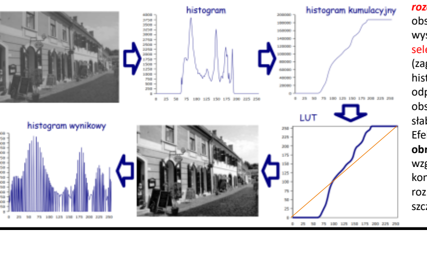




Dynamic Histogram Specification (DHS)

Wyrównywanie typu equalizacja

- **Wyrównanie histogramu (*ang. Equalization*) dąży do ujednolicenia rozkładu pikseli we fragmentach osi poziomów jasności.**
- Wykorzystanie całki z histogramu (dystrybuanty) do ustalania jasności docelowych (wyjściowych).



Operacja selektywnie *rozciąga* histogramu w obszarach, gdzie występują **maksima** i selektywne ***ściągnięcie*** (zagęszczenie prążków) histogramu w rejonach odpowiadających obszarom obrazu o słabym kontraście. Efekt: **poprawa jakości obrazu** (głównie ze względu na kontrastowość i stopień rozróżnialności szczegółów).

Wyrównanie histogramu

- Do takiego wyrównanie histogramu wykorzystujemy tablicę LUT.
- W pierwszym kroku musimy stworzyć dystrybuantę empiryczną (odpowiednik histogramu skumulowanego)

D[*n*]=(*h*0+*h*1+…+*hn)/sum*

gdzie:

hn - to ilość punktów na obrazie o n-tym poziomie szarości,
sum - to liczba wszystkich punktów obrazu.

- W drugim kroku możemy wyliczyć wartości tablicy LUT:

LUT[*i*]=((*D*[*i*]−*D*0)/(1−*D*0))*(*M*−1)

gdzie

*D*0 - to pierwsza niezerowa wartość dystrybuanty obrazu źródłowego,
M to liczba możliwych wartości jasności obrazu (zwykle 256).

Wyrównanie histogramu

L – liczba poziomów szarości
n_k – liczba wystąpień pikseli o tej jasności r_k
$p_r(r_k)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia *k* – tego poziomu szarości określane jako n_k / N gdzie N – całkowita ilość pikseli w obrazie czyli N1*N2.

Metodę wyrównywania histogramu opisuje transformata $T(r_k)$ odpowiadająca dystrybuancie prawdopodobieństwa

$$p(s_k) = T(r_k) = \sum_{j=0}^{k} \frac{n_j}{N} = \sum_{j=0}^{k} p_r(r_j) \qquad \begin{array}{c} 0 \le r_k \le 1 \\ k = 0,1,2,\ldots,L-1 \end{array}$$

Przykład

W obrazie pierwotnym [p(i, j)] poziomy szarości przyjmują dyskretne wartości

gdzie:

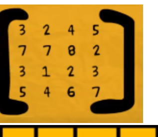
L – liczba poziomów szarości
n – liczba wystąpień pikseli o r – tej jasności.
$p_r(r)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia *r* – tego poziomu szarości
N – całkowita ilość pikseli w obrazie.

Metodę wyrównywania histogramu opisuje wzór:

$$LUT(r) = \frac{D(r) - D(0)}{1 - D(0)} * (L - 1)$$

gdzie:

$$D(r) = \frac{D(0)+D(1)+\ldots+D(r)}{N}$$



Pixel Intensity	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
No. of pixels	1	3	3	2	2	1	3	1	0	0

Przykład - wyrównania histogramu

p					
	4	1	5	4	4
	4	0	1	4	3
	4	0	1	4	3
	4	1	1	4	3

histogram	**2**	**5**	**0**	**3**	**9**	**1**	hp(i)
p	0	1	2	3	4	5	

dystrybuanta hystogramu

2	7	7	10	19	20	DIS_hp(i)

D(i)/rozmiar obrazy=dystrybuanta prawdopodobieństwa wystąpienia <=i

"2/20"	"7/20"	"7/20"	"10/20"	"19/20"	"20/20"	Dp(i)

wyliczamy LUT(i) - przekształcenie

0	1	1	2	4	5
0	1	2	3	4	5

q					
	4	1	5	4	4
	4	0	1	4	2
	4	0	1	4	2
	4	1	1	4	2

histogram	**2**	**5**	**3**	**0**	**9**	**1**	hq(i)
q	0	1	2	3	4	5	

Il.w = 4; il.k = 5;
liczba pikaseli = 20
lmin = 0; lmax =5;
M = 6

D[*i*]=(*H*0+*H*1+…+*Hi)/sum*
*D*0 – pierwsza niezerowa wartość = 2/20

LUT[*i*]=((*D*[*i*]−*D*0)/(1−*D*0))*(*M*−1)
*= ((20*D*[*i*]/20−2/20)*20/18)*

Przykład – wyrównania histogramu

p					
	4	1	5	4	4
	4	0	1	4	3
	4	0	1	4	3
	4	1	1	4	3

sum=il.w*il.k=4*5=20

histogram	**2**	**5**	**0**	**3**	**9**	**1**	hp(i)
p	0	1	2	3	4	5	

prawdopodobieństwo wstępownia poziomów szarości	"2/20"	"5/20"	"0/20"	"3/20"	"9/20"	"1/20"	suma = 1
D(i)	"2/20"	"7/20"	"7/20"	"10/20"	"19/20"	"20/20"	
s(i)	"10/20"	"35/20"	"35/20"	"50/20"	"95/20"	"100/20"	
	0,5	1,75	1,75	2,5	4,75	5	

zaokrągone s(1) - przkształcenie

1	2	2	3	5	5
0	1	2	3	4	5

5	2	5	5	5
5	1	2	5	3
5	1	2	5	3
5	2	2	5	3

histogram	**0**	**2**	**5**	**3**	**0**	**10**
S	0	1	2	3	4	5

Il.w = 4; il.k = 5;
lmin = 0; lmax =5;
M = 6

s(i)=T(H(i))= rounded(5*Dp(i))

Przykład - porównanie wyników

p				
4	1	5	4	4
4	0	1	4	3
4	0	1	4	3
4	1	1	4	3

sum=il.w*il.k=4*5=20

histogram	2	5	0	3	9	1	hp(i)
p	0	1	2	3	4	5	

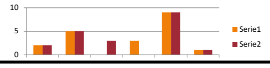
Wyrównanie equalizacja

wyliczamy LUT(i) - przekształcenie

0	1	1	2	4	5
0	1	2	3	4	5

q				
4	1	5	4	4
4	0	1	4	2
4	0	1	4	2
4	1	1	4	2

histogram	2	5	3	0	9	1	hq(i)
q	0	1	2	3	4	5	



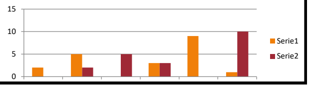
Selektywne wyrównanie

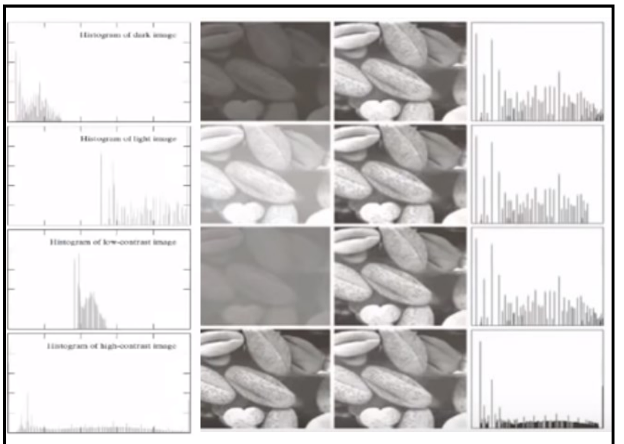
zaokrągone s(i) - przkształcenie

1	2	2	3	5	5
0	1	2	3	4	5

5	2	5	5	5
5	1	2	5	3
5	1	2	5	3
5	2	2	5	3

histogram	0	2	5	3	0	10	s(i)
S	0	1	2	3	4	5	

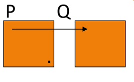




Operacje na obrazach

➢ Operacje punktowe (jednopunktowe):

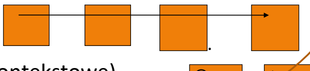
Jednoargumentowe



$$[q(i,j)] = f[p(i,j)]$$

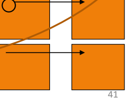
Wieloargumentowe

$$[q(i,j)] = f[p_1(i,j), p_2(i,j),.., p_k(i,j)]$$



➢Operacje sąsiedztwa (kontekstowe)

$$[q(i,j)] = f[p(i,j), p(i-1,j-1), p(i+1,j+1),..]$$



➢Operacje globalne transformaty

$$[q(i,j)] = f[P]$$

41

Algorytm przeszukiwanie obrazu

- Do operacji punktowych F

```
For  i=0 to X do:
        Begin.
         For  j=0 to Y do
                Begin.
                fnew(i,j):= F(  f1(i,j), f2(i,j), …)
                End.
        End.
```

- Do operacji sąsiedztwa

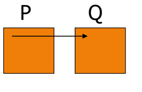
```
For  i=2 to X-2 do:
        Begin.
         For  j=2 to X-2 do
                Begin.
                f new(i,j):= F( f(i-1, j-1), f(i-1, j),
                f(i-1, j+1), f(i, j-1), f(i,j) f(i, j+1),
                f(i+1, j-1), f(i+1, j), f(i+1, j+1))
                End.
        End.
```

Operacje punktowe (lokalne, jednopunktowe)

Opracować algorytm i uruchomić aplikację realizującą typowe operacje punktowe jednoargumentowe takie jak:

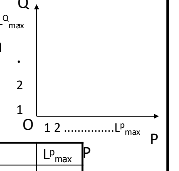
- negacja,
- progowanie binarne z progiem wskazywanym suwakiem i wpisanym jako parametr,
- progowanie z zachowaniem poziomów szarości z progiem wskazywanym suwakiem,
- progowanie z dwoma progami wskazanymi przez wskazywanym suwakiem i wpisanym jako parametr.

Operacje punktowe



Definiowane przez:

- Definicję funkcji; z jawnie postawionymi warunkami logicznymi
- Wykres funkcji we współrzędnych OXY; na osi OX są **wszystkie potencjalne** wartości poziomów szarości obrazu pierwotnego P, a na OY obrazu po przekształceniu Q;



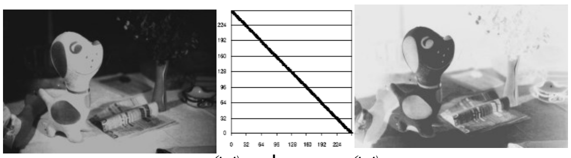
- Tablica przekodowań (LUT – *Look Up Table*).

0	1	2	....	L^P_{max}	P
					Q

44

Negacja

Negatyw obrazu



$q(i, j)$ = Lmax - $p(i, j)$

$q(i, j)$ = NOT $p(i, j)$

Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych tonach (cieniach) jeśli jasne tony są nieistotne

45

Dane: P(z)-obraz;

hr(Z) i F(z) - wypełnić zerami

For Z↑ **do:**
Begin.
hr(Z)= Lmax-Z
End.

For wszystkich elementów f obrazu **do:**
Begin.
F(z)= hr(P(z))
End.

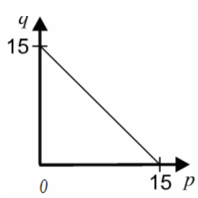
Operacja odwrotności (negacji)

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

$q(i,j) = L_{max} - p(i,j)$ dla $L_{min} \le p \le L_{max}$

Dla $L_{min} = 0$, $L_{max} = 15$ (czyli $M=16$): $q(i,j) = 15 - p(i,j)$

[q]



0	0	15	15	13
2	2	0	15	15
15	15	8	1	1
15	14	13	12	11
0	1	2	3	4

47

Progowanie

Jest to taka wersja operacji zmniejszenia ilości poziomów szarości do dwóch, dla której istnieje możliwość arbitralnego wyboru wartości progu (p_1) czyli szarości granicznej, od której przyporządkowujemy wyższy poziom szarości (najczęściej biel) oraz dla której i poniżej której przyporządkowujemy niższy próg szarości (najczęściej czerń).

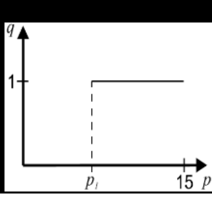
$$q = \begin{cases} L_{\min} & \text{dla } p \le p_1 \\ L_{\max} & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

48

Operacja progowania (binaryzacji)

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0

[redacted]



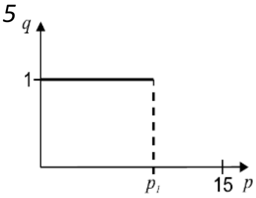
49

Operacja odwrotnego progowania (binaryzacji)

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

$$q = \begin{cases} 1 \; dla \; p \le p_1 \\ 0 \; dla \; p > p_1 \end{cases}$$

$p_1 = 5$



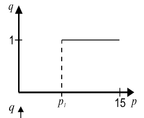
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1
0	0	0	0	0

50

Różne typy progowania

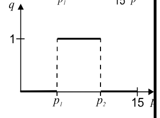
- Progowanie z pojedynczym progiem segmentacji

$$q=\begin{cases} L_{\min} & \text{dla } p \le p_1 \\ L_{\max} & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$



- Progowanie przedziałami

$$q=\begin{cases} L_{\max} & \text{dla } p_1 \le p \le p_2 \\ L_{\min} & \text{dla } p < p_1 \text{ lub } p > p_2 \end{cases}$$

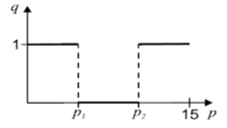


51

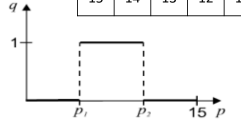
Operacje progowania przedziałami (binarne)

$p_1 = 2, p_2 = 12$

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11



1	1	1	1	0
1	1	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0



0	0	0	0	1
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	0	0	1	1

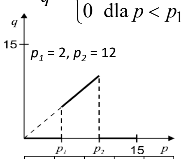
52

Operacje progowania z zachowaniem poziomów szarości

Dla $L_{min} = 0$, $L_{max} = 15$ (czyli $M=16$)

Z zachowaniem identyczności

$$q=\begin{cases} p & \text{dla } p_1 \le p \le p_2 \\ 0 & \text{dla } p < p_1,\ p > p_2 \end{cases}$$

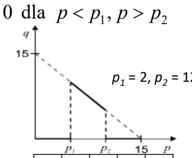


0	0	0	0	2
0	0	0	0	0
0	0	7	0	0
0	0	2	3	4
0	0	0	12	11

15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

Z zachowaniem odwrotności (negacji)

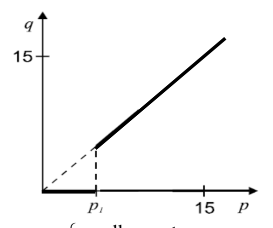
$$q=\begin{cases} L_{\max} - p & \text{dla } p_1 \le p \le p_2 \\ 0 & \text{dla } p < p_1,\ p > p_2 \end{cases}$$



0	0	0	0	13
0	0	0	0	0
0	0	8	0	0
0	0	13	12	11
0	0	0	3	4

53

Operacja progowania z jednym progiem i zachowaniem poziomów szarości

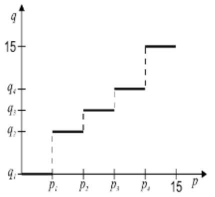


$$q=\begin{cases} p & \text{dla } p_1 \le p \\ 0 & \text{dla } p < p_1 \end{cases}$$

Operacja redukcji poziomów szarości z nierównomiernym podziałem zakresu

Przykład dla $L_{min} = 0$, $L_{max} = 15$ (czyli $M=16$)

[redacted]



55

Redukcja liczby poziomów szarości z równomiernym podziałem zakresu

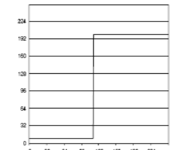
Powtórna kwantyzacja na mniejszą zadaną liczbę poziomów szarości (2, 3, 4, 5, ..., 255)

Cel:

1. artystyczny – obraz posteryzowany o ostrych granicach i niewielkiej ilości tonów ,
2. prosta segmentacja,
3. kompresja

Inż.. W. Romer „Izohelja” w Kamera Polska

Dwa przedziały – binaryzacja



Szesnaście przedziałów

56

Redukcja liczby poziomów szarości- przykłady

Różne liczby przedziałów kwantowania