

Algorytmy Przetwarzania Obrazów

Obraz i jego histogram. Operacje punktowe (I)

WYKŁAD 1
Dla studiów stacjonarnych 2025/2026

Dr hab. Anna Korzyńska, prof. nadzwyczajny prof. IBIB PAN

Zaliczenie przedmiotu Algorytmy Przetwarzania Obrazów (APO)

- 4 wykłady omawiające implementację funkcjonalności obowiązkowych i ponadobowiązkowych w aplikacji na zaliczenie; (Teams)
- 6 laboratoriów, na których będzie budowana, rozwijana i sprawdzana aplikacja do przetwarzania obrazów (praca indywidualna); (sala N102)
- Dodatkowo projekt egzaminacyjny (mini-projekt) w formie dodatkowych funkcjonalności w aplikacji rozwijanej w czasie laboratoriów lub w oddzielnej aplikacji.

Tematy projektu do wyboru, będą podane na następnym wykładzie. Na wykładzie 3 będzie przewidziany czas na rozmowy na temat wybranych mini-projektów.

Aplikacja

Aplikacja powinna:

- być programem desktopowym z uproszczonym głównym interfejsem użytkownika w postaci typowego menu, ale za to z **bardzo intuicyjnym i 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 przetwarzania;
- korzystać z biblioteki OpenCV na etapie wskazanym przez prowadzącego. 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 na zajęciach (bezpośrednio z laptopa lub komputera w Sali N102 na zajęciach), **ale na koniec semestru będzie musiała zostać wgrana na Teamsy wraz z programem wykonywalnym** i pracować na obrazach demonstracyjnych zgromadzonych przez studenta (problem uzgodnienia wersji oprogramowania).

Ocena z APO

Laboratoria:

Maksymalnie 50 punktów;
Zalicza 26 punktów;
Maksymalna liczba nieobecności: 2

Egzamin:

Maksymalnie 50 punktów;
Zalicza 25 punktów;
Wykłady nie są obowiązkowe, ale na wykładzie 2 i 3 będą przedstawiane, omawiane i konsultowane tematy projektów egzaminacyjnych, które należy wybrać do 15.11.2023 (wykładu 3).

Zaliczanie całego przedmiotu 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.nasa.gov>



Pierwsze kolorowe zdjęcie z łazika Perseverance wysłane na Ziemię. Zostało wykonane przez jedną z kamer Hazcam. Źródło: NASA/JPL-Caltech

4 / 4

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:

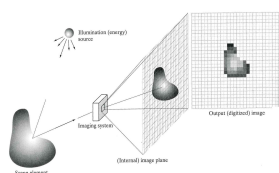
- związanych z cechą/cechami pomiarowymi, na bazie których tworzymy obraz (natężenie fali elektromagnetycznej, akustycznej, wielkości nie falowe np. czas relaksacji)
- dostosowanych do materialnego nośnika obrazu (papieru, kliszy, dyskietki, pamięci dyskowej itp.)
- niosących informację o odwzorowywanej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



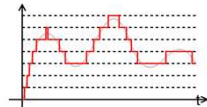
8

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

- Odwzorowuje rzeczywistość 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 $f = \{f_r, f_g, f_b\}$
- Dla obrazów wielomodalnych i multispektralnych wartość f to wielowymiarowy wektor określający różne dane pomiarowe.

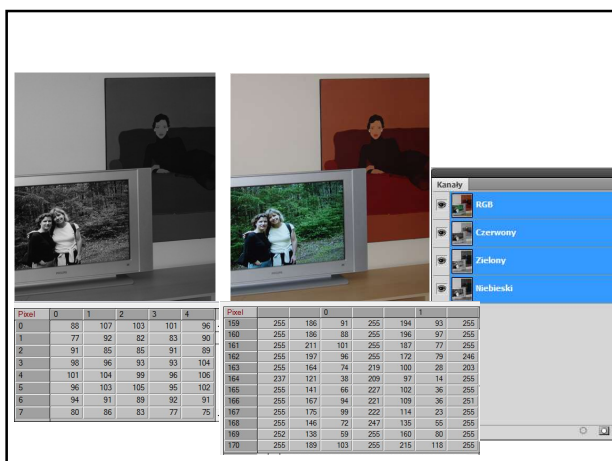
$f \in [L_{min}, L_{max}]$ - skala szarości/intensywności składowej pojedynczego kanału obrazu

$L_{min} = 0$, minimalna intensywność odpowiada czerni

L_{max} = maksymalna intensywność odpowiada bieli

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

10



Laboratorium 1 (max 11p)

Algorytm i program wyliczania tablicowej wersji histogramu (tzn. LUT) dla obrazów kolorowych i monochromatycznych.

Algorytmy i implementacja graficznego prezentowania histogramu. Implementacja manipulacji histogramem.

Operacje punktowe jednoargumentowe na obrazach monochromatycznych.

Zadanie 1 (3p)

- Przygotować środowisko do pracy z obrazami (zapisanymi w formatach: .bmp; .tif; .png; .jpg) w dowolnym wybranym przez siebie języku programowania i środowisku.
- Zapewnić opcje wczytywania, zapisywania i duplikacji obrazu i możliwość jednoczesnego wyświetlania wielu obrazów (w tym wielu operandów operacji na obrazach i jej wyniku).
- Zapewnić możliwość zmiany wielkości wyświetlanego obrazu (zminimalizowany do wielkości okna, zajmujący pełny ekran, wyświetlony w naturalnej rozdzielczości, itp.)

Zadanie 2 (2,5p)

- Opracować algorytm i oprogramować funkcjonalność tworzenia tablicy LUT zawierającej informację potrzebną do wyświetlenia, manipulacji lub analizy histogramu wczytanych obrazów monochromatycznych i kolorowych.
- Zaimplementować narzędzie prezentacji (edycji - nieobowiązkowo) tablicy LUT.

Zadanie 3 (3,5p)

- Opracować algorytm i uruchomić aplikację generowania histogramu jako wykresu słupkowego wraz z opisem statystycznych wielkości charakteryzujących obraz (proszę nie korzystać z procedur automatycznie generujących wykres słupkowy).
- Opracować algorytm i uruchomić aplikację manipulacji histogramem i generacji obrazu po transformacji histogramu:
 - Linowego rozciąganie histogramu w wersjach z i bez przesycenia (max przesycenie powinno dotyczyć 5% pikseli)
 - Selektywnego wyrównanie histogramu przez equalizację samodzielną zaimplementowane według jednego z algorytmów przedstawionych na wykładzie

Zadanie 4 (2p)

Opracować algorytm i uruchomić funkcjonalności realizującą typowe operacje punktowe jednoargumentowe na obrazach w odcieniach szarości:

- negacja,
- redukcja poziomów szarości przez powtórny kwantyzację z liczbą poziomów szarości wskazaną przez użytkownika,
- progowanie binarne z progiem wskazywanym przez użytkownika (w kontekście histogramu wyświetlonego na ekranie),
- progowanie z zachowaniem poziomów szarości z progiem wskazywanym przez użytkownika (w kontekście histogramu wyświetlonego na ekranie),

Laboratorium 2. (max 9,5p)**Operacje na obrazach:**

- arytmetyczne
- logiczne
- konwolucji
- krawędziowania

Zadanie 1 (2 p)

Opracowanie algorytmu i uruchomienie funkcjonalności realizującej operacje punktowe wieloargumentowe na obrazach monochromatycznych:

- dodawania obrazów (dwóch, trzech - do pięciu) - z i bez wysycenia
- dodawania, dzielenia i mnożenia obrazów przez liczbę całkowitą - z i bez wysyceniem
- różnicy bezwzględnej obrazów.

Zadanie 2 (1,5 p)

Opracowanie algorytmu i uruchomienie funkcjonalności realizującej operacje logiczne na obrazach monochromatycznych i binarnych: not; and; or; xor.

Proszę dołączyć bibliotekę OpenCV i korzystać z niej przygotowując poszczególne funkcjonalności.

Zadanie 3 (4,5 p)

Opracowanie algorytmu i uruchomienie funkcjonalności realizującej operacje:

- wygladzania liniowego oparte na typowych maskach wygladzania (uśrednienie, uśrednienie z wagami, filtr gaussowski – przedstawione na wykładzie) przestawionych użytkownikowi jako maski do wyboru,
- wyostrzania liniowego oparte na 3 maskach laplasjanowych (podanych w wykładzie) przestawionych użytkownikowi maski do wyboru,
- kierunkowej detekcji krawędzi w oparciu o maski 8 kierunkowych masek Prewitta (podstawowe 8 kierunków) przestawionych użytkownikowi do wyboru,
- detekcji krawędzi operatorami opartymi na dwóch prostopadłych maskach Sobela.

Zadanie 4 (1 p)

Opracowanie algorytmu i uruchomienie aplikacji realizującej uniwersalną operację medianową opartą na otoczeniu 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 zadawanym w sposób interaktywny (wybór z list, przesuwanie baru). Zastosować powyższych metod uzupełniania brzegowych pikseli obrazu, dając użytkownikowi możliwość wyboru, jak w zadaniu 3.

Zadanie 5 (0,5 p)

Implementacji detekcji krawędzi operatorem Cannyego.

Laboratorium 3 (max 5,5p)**Operacje rozciągania i zawężania histogramu, prostej segmentacji i morfologii matematycznej.****Zadanie 1. (1 p)**

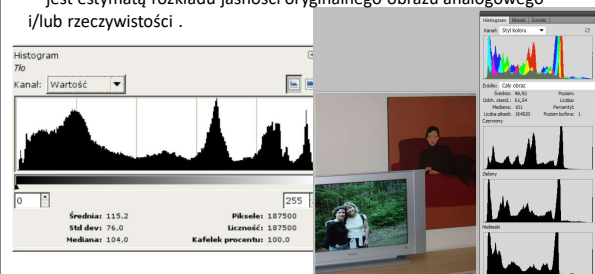
Rozciąganie histogramu w zadanym przez użytkownika zakresie: p1-p2 (obraz źródłowy) do zakresu q3-q4 (obraz wynikowy).

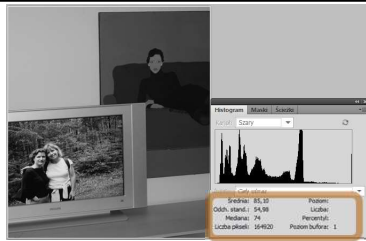
**Podstawowa funkcjonalność
budowanego systemu:
wyświetlanie obrazu i jego
histogramu**

Histogram definicja

Histogram to wykres słupkowy przedstawiający ilość pikseli o każdej potencjalnej wartości występującej w obrazie.

- Statystyka odzwierciedlająca rozkład jasności punktów w obrazie.
- jest estymatą rozkładu jasności oryginalnego obrazu analogowego i/lub rzeczywistości.

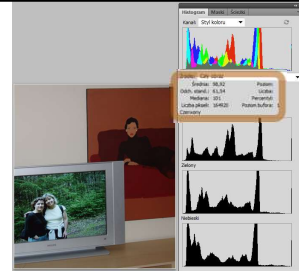




Obraz cyfrowy: $N \times N$ pikseli.

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

19



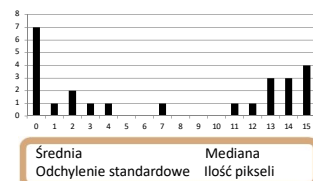
$$f_h(x, y) = \begin{bmatrix} f_h(0,0) & f_h(0,1) & \dots & f_h(0,N-1) \\ f_h(1,0) & f_h(1,1) & \dots & f_h(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_h(N-1,0) & f_h(N-1,1) & \dots & f_h(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

$$f_g(x, y) = \begin{bmatrix} f_g(0,0) & f_g(0,1) & \dots & f_g(0,N-1) \\ f_g(1,0) & f_g(1,1) & \dots & f_g(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_g(N-1,0) & f_g(N-1,1) & \dots & f_g(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

$$f_b(x, y) = \begin{bmatrix} f_b(0,0) & f_b(0,1) & \dots & f_b(0,N-1) \\ f_b(1,0) & f_b(1,1) & \dots & f_b(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_b(N-1,0) & f_b(N-1,1) & \dots & f_b(N-1,N-1) \end{bmatrix}$$

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



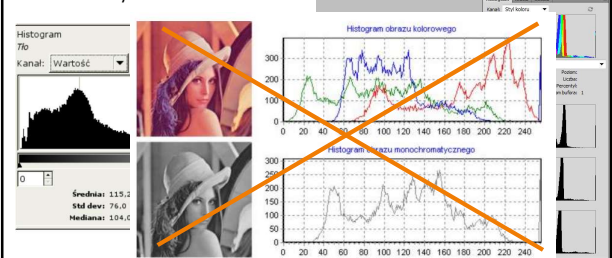
M=16,
Lmin=0,
Lmax=15

Średnia
Odchylenie standardowe
Mediana
Ilość pikseli

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 lub 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

Kontrola skrolowania o 1, 10, 50 Kierunki: ↓

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 LUT czyli (wyznaczania wartości) histogramu

Algorytm wyznaczania histogramu jest prosty: analizuje każdy piksel obrazu i liczy 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 .

Start

Wstaw do tablicy $h(Z)$ ($0/1 \leq Z \leq M/Lmax$) 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) i skrolowanej tablicy LUT

Generowanie wykresu słupkowego z tablicy LUT

Start

Wyszukaj maksymalną wartość zapisaną w tablicy h – służącą 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: $\{h(1/0), \dots, h(M/Lmax)\}$ – 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

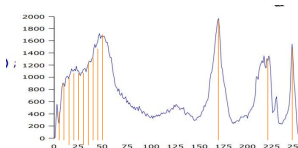
3 7 0 10 5 6 0 5

H – histogram skumulowany
(analog do dystrybucji prawdopodobieństwa)

$$H(0) = h(0)$$

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

3 10 10 20 25 31 31 36



Algorytm tworzenia histogramu skumulowanego H na podstawie histogramu h

LUT $\{h(1/0), \dots, h(M/Lmax)\}$

Start

$H(0) = h(0)$

For wszystkich elementów h histogramu obrazu P do:

Begin.

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

End.

Koniec algorytmu.

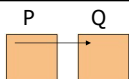
Operacje na histogramie do zaimplementowanie w aplikacji

Obrazy bardzo często zawierają elementy, które są trudne do zauważenia głównie dlatego, że obiekty są mało zróżnicowane w stosunku do otoczenia.

Operacje na histogramach:

1. Rozciąganie liniowe: z zakresu $p1-p2$ do zakresu $q3-q4$, (w szczególności gdy $q3=0, q4=Lmax$ – rozciąganie do pełnego dostępnego zakresu poziomów szarości z i bez przepełnienia – w przypadku przepełnienia nie może ono dotyczyć więcej niż 5% pikseli obrazu).
2. Rozciąganie nieliniowe według funkcji gamma
3. Wyrównanie selektywne typu equalizacja

Operacje punktowe jednogumentowe

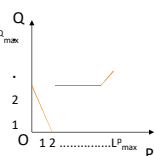


Definiowane przez:

- Definicję funkcji; z jawnie postawionymi warunkami logicznymi

$$q = \begin{cases} x & \text{if } p \in [a, b, c, \dots] \\ y & \text{if } p \in [e, f, g, \dots] \end{cases}$$

- 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
a	a	e	...		Q

29

Operacje punktowe (lokalne, jednopunktowe)

Do operacji punktowych; realizacja funkcji F



```

For i=0 to X do:
  Begin.
    For j=0 to Y do
      Begin.
        fnew(i,j) := F(f(i,j))
      End.
    End.
  End.

```

$F(f1(i,j), f2(i,j))$

30

Operacje na histogramach

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

Operacje na histogramach:

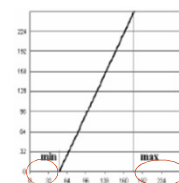
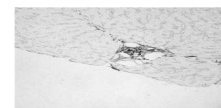
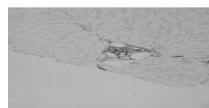
1. **Linowe rozciąganie** (z i bez obciążenia rzadko występujących jasności)
2. Nieliniowe rozciąganie: według funkcji gamma o zadanym parametrze
3. Wyrównywanie według algorytmów zrównania częstotliwości występowania wszystkich poziomów jasności
4. **Wyrównanie typu equalizacja (ang. equalization)**

Liniowe rozciąganie histogramu

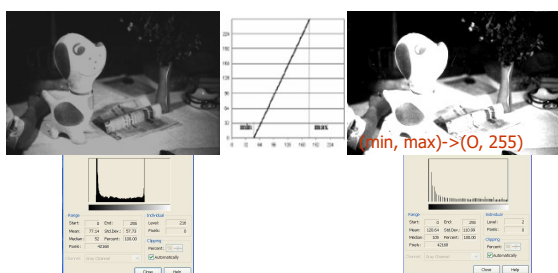
Optymalne wykorzystanie zakresu poziomów jasności:

- Zagospodarowanie całego zakresu dostępnych poziomów szarości
- Wykorzystanie skrajnych zakresów do prezentacji zakresów średnich

(mało liczne, nieistotne wartości skrajne)

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


Liniowe rozciąganie histogramu - przykład



33

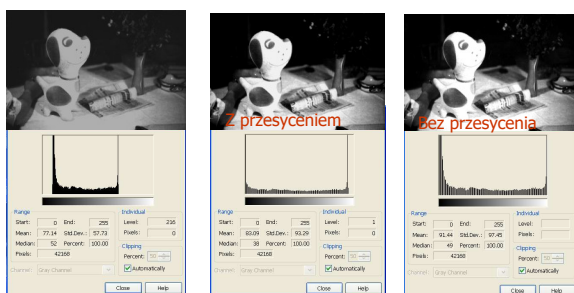
Dane: $P(z)$ -obraz; h histogram, zakres rozciągnięcia $L_{\min}=0$ i $L_{\max}=L$;

Start
 $\min=0; \max=L; \text{sem_min}=\text{false};$
 $\text{sem_max}=\text{false}; \text{hr}(Z) \text{ i } F(z) -$
 wypełnić zerami

For $Z \uparrow$ do:
 Begin.
 If ($\text{sem_min}=\text{false}$) then
 If $h(Z) \neq 0$ then
 Begin.
 sem_min=true
 min=Z
 End.
 End.
 For $Z \downarrow$ do:
 Begin.
 If ($\text{sem_max}=\text{false}$) then
 If $h(Z) \neq 0$ then
 Begin.
 sem_max=true
 max=Z
 End.
 End.

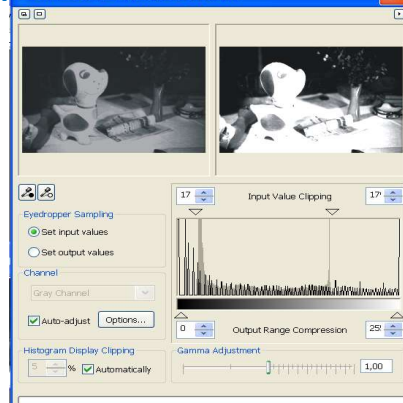
For $Z \uparrow$ do:
 Begin.
 IF $Z < \min$ then $\text{hr}(Z)=\min$
 else IF $Z > \max$ then $\text{hr}(Z)=\max$
 else $\text{hr}(Z)=\text{zaokrągl}(\frac{(Z-\min)*L_{\max}}{(\max-\min)})$
 End.
 For wszystkich elementów f obrazu do:
 Begin.
 $F(z)=\text{hr}(P(z))$
 End.

Liniowe rozciąganie histogramu z i bez przesycenia



35

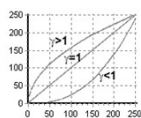
Ni Contrast Enhancement



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

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

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



Dla wartości poniżej 1 nastąpi przyciemnienie obrazu, zaś dla wartości powyżej 1 jego rozjaśnienie.

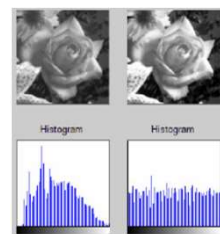
Wyrównywanie histogramu typu Dynamic Histogram Specification (DHS)

według algorytmów zrównania częstotliwości występowania wszystkich poziomów jasności

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

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

(narzędzie matematyczne to dystrybucja prawdopodobieństwa występowania poszczególnych poziomów jasności)



38

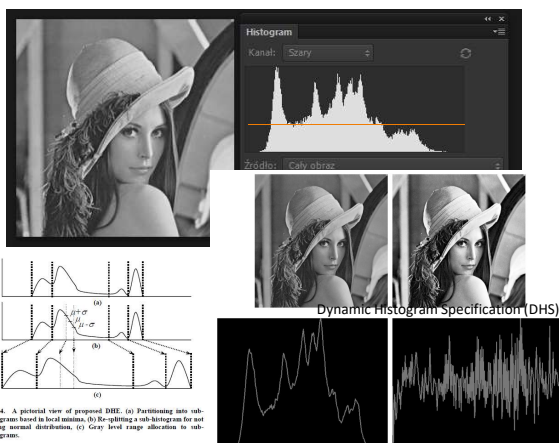


Fig. 4. A pictorial view of proposed DHS. (a) Partitioning into sub-histograms based on local minima. (b) Re-splitting a sub-histogram for not having normal distribution. (c) Gray level range allocation to sub-histograms.

Wyrównywanie typu equalizacja

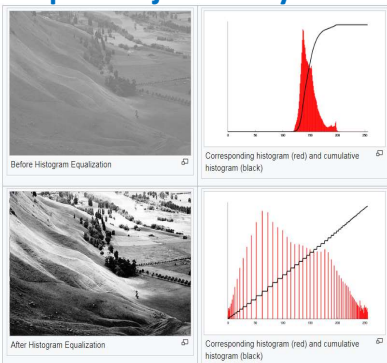
- Wyrównywanie histogramu (*ang. Equalization*) dąży do ujednolicenia rozkładu pikseli dla poszczególnych fragmentów/zakresów na osi poziomów jasności.
- Wykorzystanie całki z histogramu (dystrybucja) do ustalania jasności docelowych (wyjściowych) po procedurze equalizacji.



Operacja selektywnie rozciąga histogram w obszarach, gdzie występują maksima i selektywnie ściąganie (zagęszczenie prążków) histogram w rejonach odpowiadających obszarom obrazu o gdzie wstępują minima. Efekt: poprawa jakości obrazu (głównie ze względu na kontrastowość i stopień rozróżnialności szczegółów).

Wyrównywanie selektywne typu equalizacja - efekty

Rozszerzenia odległości między słupkami odpowiadającymi odcieniom szarości silniej reprezentowanymi (czyli o wysokich słupkach) a zawężenie pomiędzy słupkami o małej wysokości.



Wyrównywanie histogramu (equalizacja)

- Budujemy tablicę LUT na podstawie obrazu.
- Konstruujemy dystrybucję empiryczną (histogram skumulowany dzielony przez ilość pikseli w obrazie)

$$D[n] = (h_0 + h_1 + \dots + h_n) / \text{sum}$$

gdzie:

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

- wyliczyć wartości tablicy nowej LUT':

$$LUT'[i] = ((D[i] - D_0) / (1 - D_0)) * (M - 1)$$

gdzie

D_0 - to pierwsza niezerowa wartość dystrybucji obrazu źródłowego,

M to liczba możliwych wartości jasności obrazu (zwykle 256).

Wyrównanie histogramu (equalizacja)

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 $N_1 * N_2$.

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

$$p(s_k) = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{N} = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad \begin{matrix} 0 \leq r_k \leq 1 \\ k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \end{matrix}$$

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:

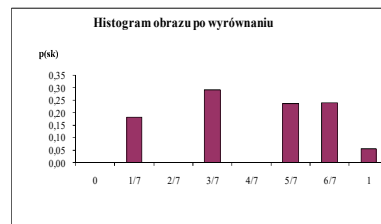
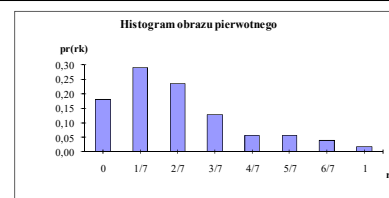
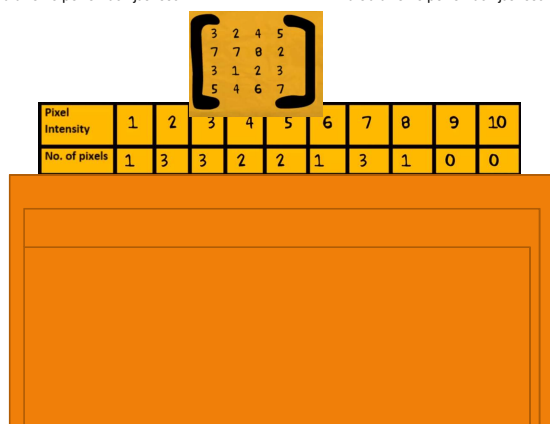
$$LUT(r) = \frac{D(r) - D(0)}{1 - D(0)} * (L - 1)$$

gdzie:

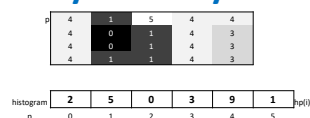
$$D(0) + D(1) + \dots + D(r)$$

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

Obraz o 10 poziomach jasności → na obraz o 20 poziomach jasności



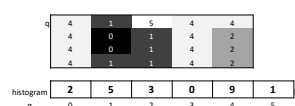
Przykład - wyrównania histogramu



Histogram skumulowany (dystrybucja histogramu)

$D(i) = \text{rozmiar obrazu} \times \text{dystrybucja prawdopodobieństwa wystąpienia csi}$

wyliczamy LUT(i) - przekształcenie

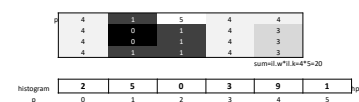


$l.l.w = 4; i.l.k = 5;$
 liczba pikseli = 20
 $l.min = 0; l.max = 5;$
 $M = 6$

$D(i) = (H_0 + H_1 + \dots + H_i) / \text{sum}$
 D_0 – pierwsza niezerowa wartość = 2/20
 $LUT[i] = ((D[i] - D_0) / (1 - D_0)) * (M - 1)$

$$= ((20 * D[i] / 20 - 2/20) * 20 / 18)$$

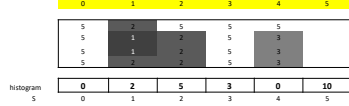
Przykład – wyrównania histogramu



przekształcenie: $"2/20"$ $"5/20"$ $"0/20"$ $"3/20"$ $"9/20"$ $"1/20"$ suma = 1

$D(i) = \text{rozmiar obrazu} \times \text{dystrybucja prawdopodobieństwa wystąpienia csi}$

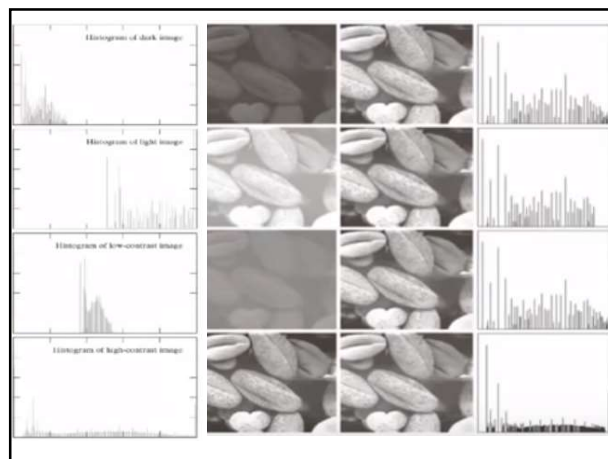
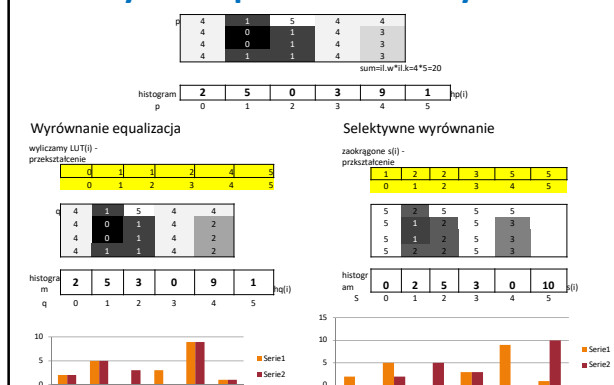
wyliczamy LUT(i) - przekształcenie



$l.l.w = 4; i.l.k = 5;$
 $l.min = 0; l.max = 5;$
 $M = 6$

$$s(i) = T(H(i)) = \text{rounded}(5 * Dp(i))$$

Przykład - porównanie wyników



Operacje na obrazach

Operacje punktowe (jednopunktowe):

Jednoargumentowe

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

Wieloargumentowe

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

Operacje sąsiedztwa (kontekstowe)

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

Operacje globalne transformaty

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

Algorytm przeszukiwanie obrazu

• Do operacji punktowych F

• Do operacji sąsiedztwa

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.

For i=2 to X-2 do:

Begin.

For j=2 to X-2 do

Begin.

fnew(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.

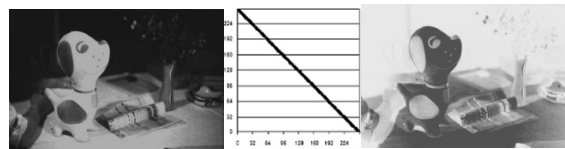
Operacje punktowe (lokalne, jednopunktowe)

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.

Negacja

Negatyw obrazu



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

$$q(i, j) = \text{NOT } p(i, j)$$

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

Negacja

Dane: $P(z)$ -obraz;

Start

$hr(Z)$ i $F(z)$ - wypełnić zerami

For $Z \uparrow$ do:

Begin.

$hr(Z) = L_{max} - Z$

End.

For wszystkich elementów f obrazu do:

Begin.

$F(z) = hr(P(z))$

End.

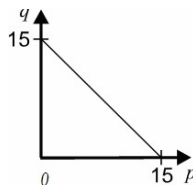
Koniec algorytmu

Operacja odwrotności (negacji)

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

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

56

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 czerni).

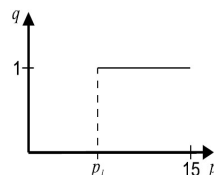
$$q = \begin{cases} L_{min} & \text{dla } p \leq p_1 \\ L_{max} & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

57

Operacja progowania (binaryzacji)

$$q = \begin{cases} 0 & \text{dla } p \leq p_1 \\ 1 & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

$p_1 = 5$



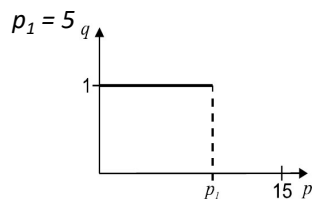
15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

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

58

Operacja odwrotnego progowania (binaryzacji)

$$q = \begin{cases} 1 & \text{dla } p \leq p_1 \\ 0 & \text{dla } p > p_1 \end{cases}$$

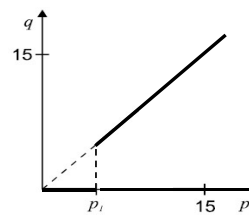


15	15	0	0	2
13	13	15	0	0
0	0	7	14	14
0	1	2	3	4
15	14	13	12	11

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

59

Operacja progowania z jednym progiem i zachowaniem poziomów szarości

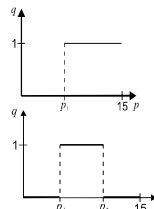


$$q = \begin{cases} p & \text{dla } p_1 \leq p \\ 0 & \text{dla } p < p_1 \end{cases}$$

Różne typy progowania

- Progowanie z pojedynczym progiem segmentacji

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



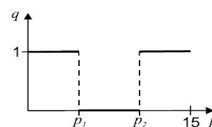
- Progowanie przedziałami

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

61

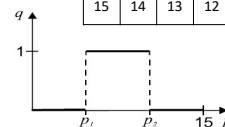
Operacje progowania przedziałami (binarne)

$$p_1 = 2, p_2 = 12$$



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

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



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

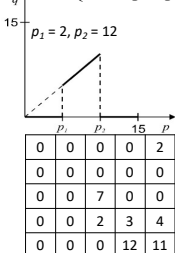
62

Operacje progowania z zachowaniem poziomów szarości

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

Z zachowaniem identyczności

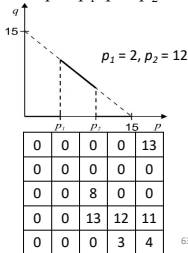
$$q = \begin{cases} p & \text{dla } p_1 \leq p \leq p_2 \\ 0 & \text{dla } p < p_1, p > p_2 \end{cases}$$



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)

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



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

63

Redukcja liczby poziomów szarości z równomiernym podziałem zakresu

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

Cel:

- artystyczny – obraz postrzysowany o ostrych granicach i niewielkiej ilości tonów,
- prosta segmentacja,
- kompresja

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



Redukcja liczby poziomów szarości- przykłady

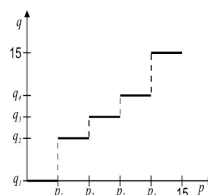
Różne liczby przedziałów kwantowania



Operacja redukcji poziomów szarości z nierównomiernym podziałem zakresu

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

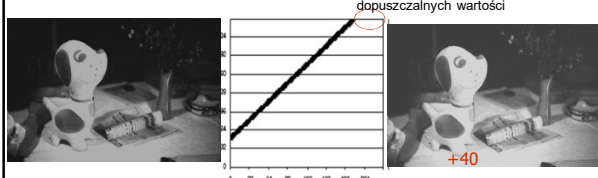
$$q = \begin{cases} 0 & \text{dla } p \leq p_1 \\ q_2 & \text{dla } p_1 < p \leq p_2 \\ q_3 & \text{dla } p_2 < p \leq p_3 \\ q_4 & \text{dla } p_3 < p \leq p_4 \\ 15 & \text{dla } p_4 < p \leq 15 \end{cases}$$



66

Dodawanie liczby do obrazu

Rozjaśnianie obrazu

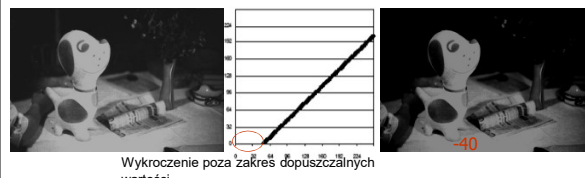


Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych tonach (cieniach), jeśli jasne tony są nieistotne

67

Odejmowanie liczby od obrazu

Przyciemnianie obrazu

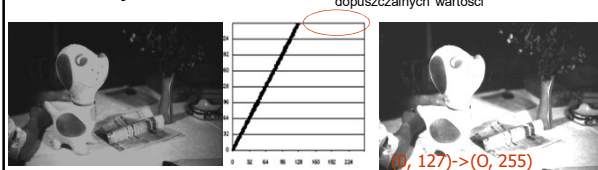


Do prezentacji informacji zawartej w jasnych tonach, jeśli ciemne tony są nieistotne

68

Mnożenie obrazu przez liczbę

Rozjaśnianie obrazu

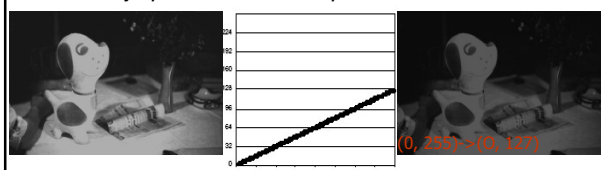


Do prezentacji informacji zawartej w ciemnych i średnich tonach (cieniach), jeśli jasne tony są nieistotne

69

Dzielenie obrazu przez liczbę

Przyciemnianie obrazu i skalowanie obrazów o podwyższonym zakresie poziomów szarości do obrazów o mniejszym zakresie tonalnym



Do prezentacji informacji zawartej w jasnych tonach, jeśli ciemne tony są nieistotne, przy zawężeniu zakresu poziomów szarości

Dodawanie obrazów

Przekroczenie zakresów poziomów szarości regulujemy:

- Wagami,
- Funkcją modulo,
- Skalowaniem wyniku – liniowe

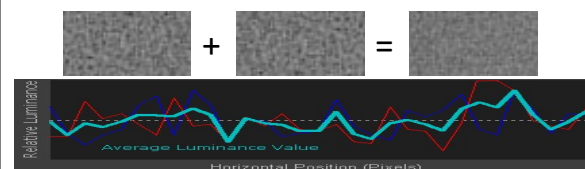


Zastosowanie do:

- łączenia masek
- efekty nałożenia obiektów i przenikania

71

Uśrednianie obrazów



$$\left[\text{Image}_1 + \text{Image}_2 + \dots + \text{Image}_k \right] / n = \text{Average Image}$$

Uśrednianie k obrazów: Stosowane do redukcji szumu (dla obrazów astronomicznych)

72

Odejmowanie obrazów

- różnica



- różnica bezwzględna



Przekroczenie zakresów
poziomów szarości regulujemy:

- Wagami,
- Funkcją modulo,
- Skalowaniem wyniku - liniowe

Obraz po liniowym
rozciągnięciu histogramu
do podwojenia zakresu

Zastosowanie do:

1. Pokazania różnicy między obrazami, zwłaszcza w przypadku, gdy porównywane obrazy są nierozróżnialne wzrokowo
2. Angiografii różnicowej

Najczęściej wykonywana operacja arytmetyczna na obrazach