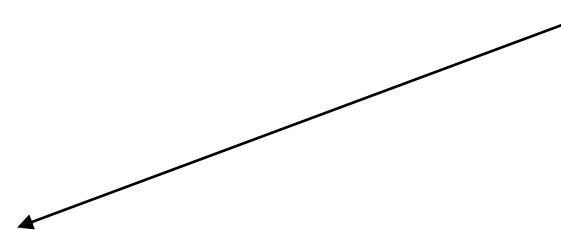


Obrazy medyczne – na co zwrócić uwagę

1. Co reprezentują dane?
np. promieniowanie X, obraz wideo, temperaturę itd..
2. Wymiary
2D, 2.5D, 3D, 4D,
3. Zakres wartości
-1000 4000 HU, [0-255], 3x[0,255], ...


Dobór okna wyświetlania
4. Rozmiar piksela/woksela
rozmiar piksela (ang. *spacing*), początek układu odniesienia (ang. *origin*)

Czym jest obraz

Obraz jako tablica dwuwymiarowa



Rodzaje obrazów 2D

- „Kolorowy”
 - » Jednokolorowe wielopoziomowe (skala szarości)
 - » Jednokolorowe dwupoziomowe

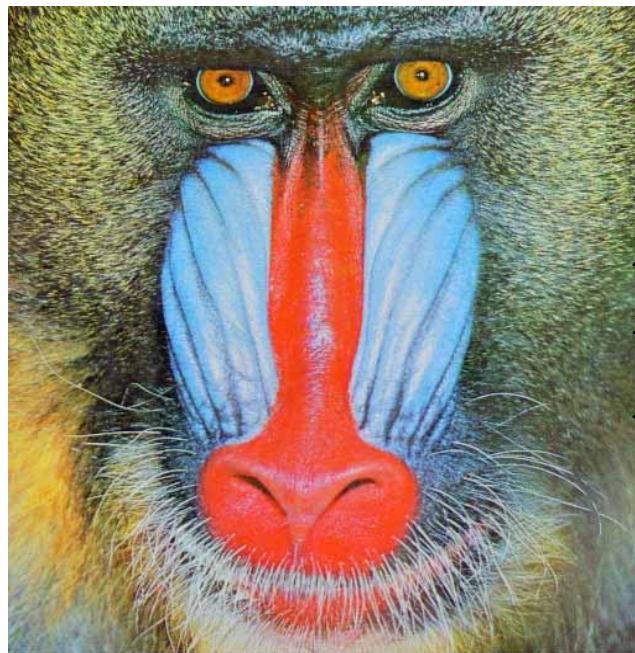


Mapa kolorów RGB, każdy kolor wartości od [0,255]

Red										
80	94	113	128	132	131	126	127	122	119	
102	128	148	146	143	145	139	128	125	120	
124	141									
125	128	37	55	83	106	122	127	131	135	132
111	106	73	103	130	136	142	151	152	143	145
87	67	118	138	Blue						
49	27	142	145	82	99	121	142	149	150	148
26	23	143	138	104	133	156	160	160	165	161
30	35	123	101	130	149	166	167	156	149	142
28	32	84	60	134	137	139	136	127	122	123
		59	53	120	115	97	75	69	77	81
		48	53	95	74	47	28	22	20	21
		46	50	54	31	19	24	21	7	7
				30	25	27	32	28	17	12
				24	29	28	28	21	14	22
				22	28	27	26	26	25	24

Jak sobie poradzić z obrazami kolorowymi ?

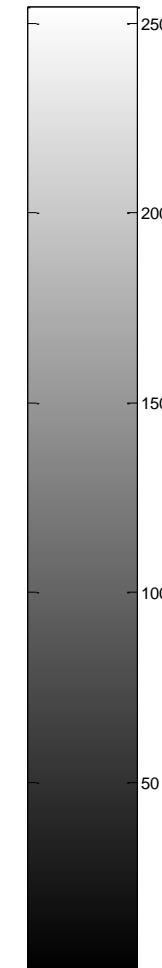
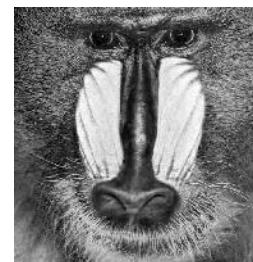
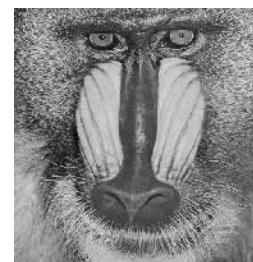
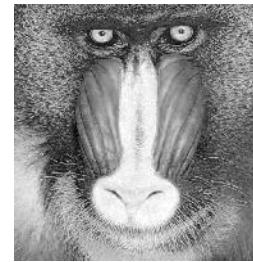
Dekompozycja RGB

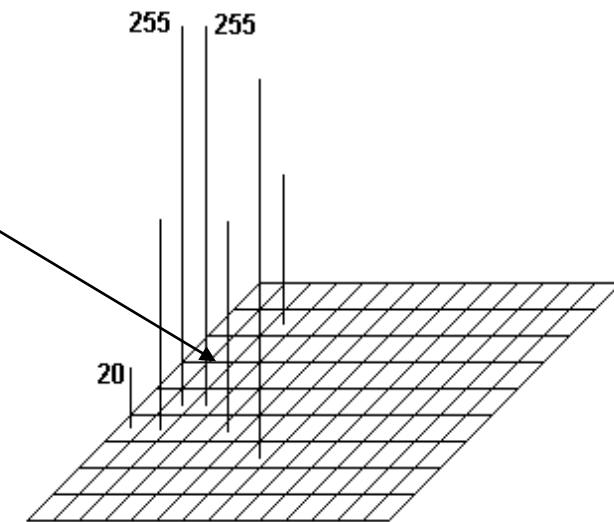
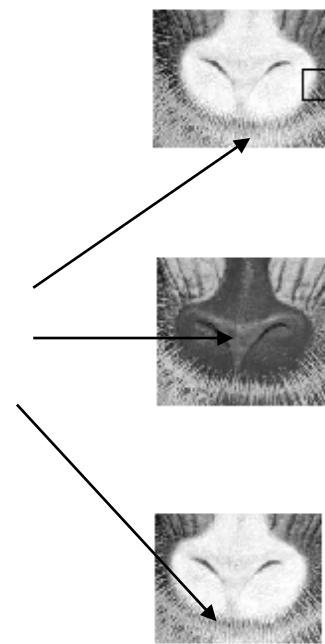
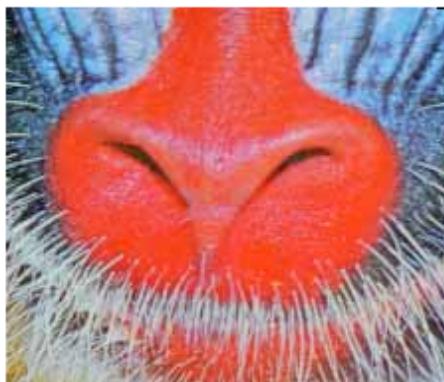


Red

Green

Blue





$$z = f(x, y)$$

Rodzaje obrazów 2D

- Kolorowy
- Jednokolorowe wielopoziomowe (skala szarości)
- Jednokolorowe dwupoziomowe



Mapa kolorów gray, [0,255],
0 – czarny, 255- biały

Gray

55	72	96	117	128	131	132	134	132	129
85	114	138	142	144	151	149	139	139	134
121	140	157	158	149	142	138	135	137	135
136	139	141	138	131	126	127	132	128	135
131	126	108	86	78	86	90	85	106	121
109	88	61	42	34	32	33	33	64	79
70	47	33	38	35	21	19	30	35	41
46	41	41	46	42	31	24	25	37	32
40	45	42	40	40	30	23	29	35	33
38	42	41	38	37	34	33	36	34	33

Rodzaje obrazów 2D

- „Kolorowy”
- Jednokolorowe wielopoziomowe (skala szarości)
- Jednokolorowe dwupoziomowe

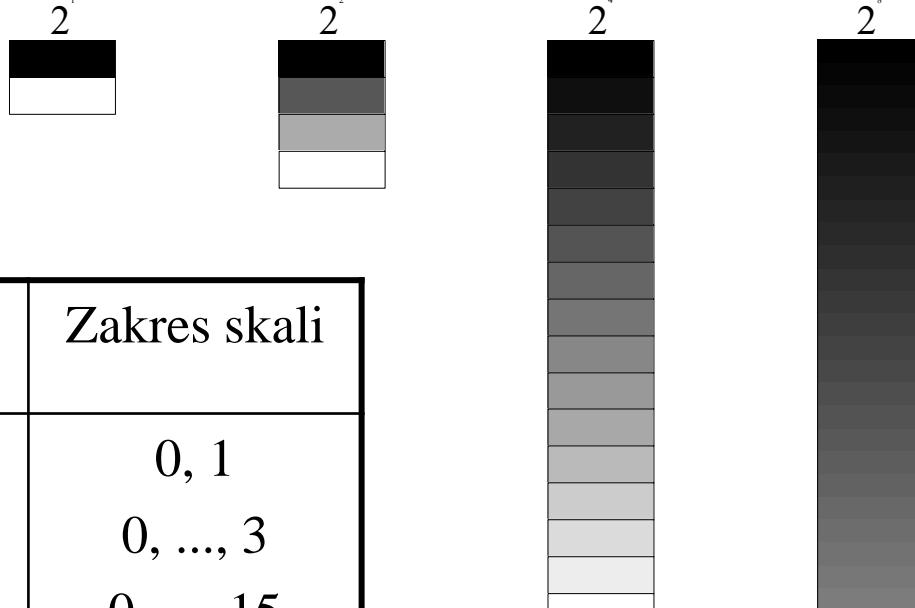


Mapa kolorów black&white, 0,1,
0 – czarny, 1- biały

Black & White

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

Skala szarości

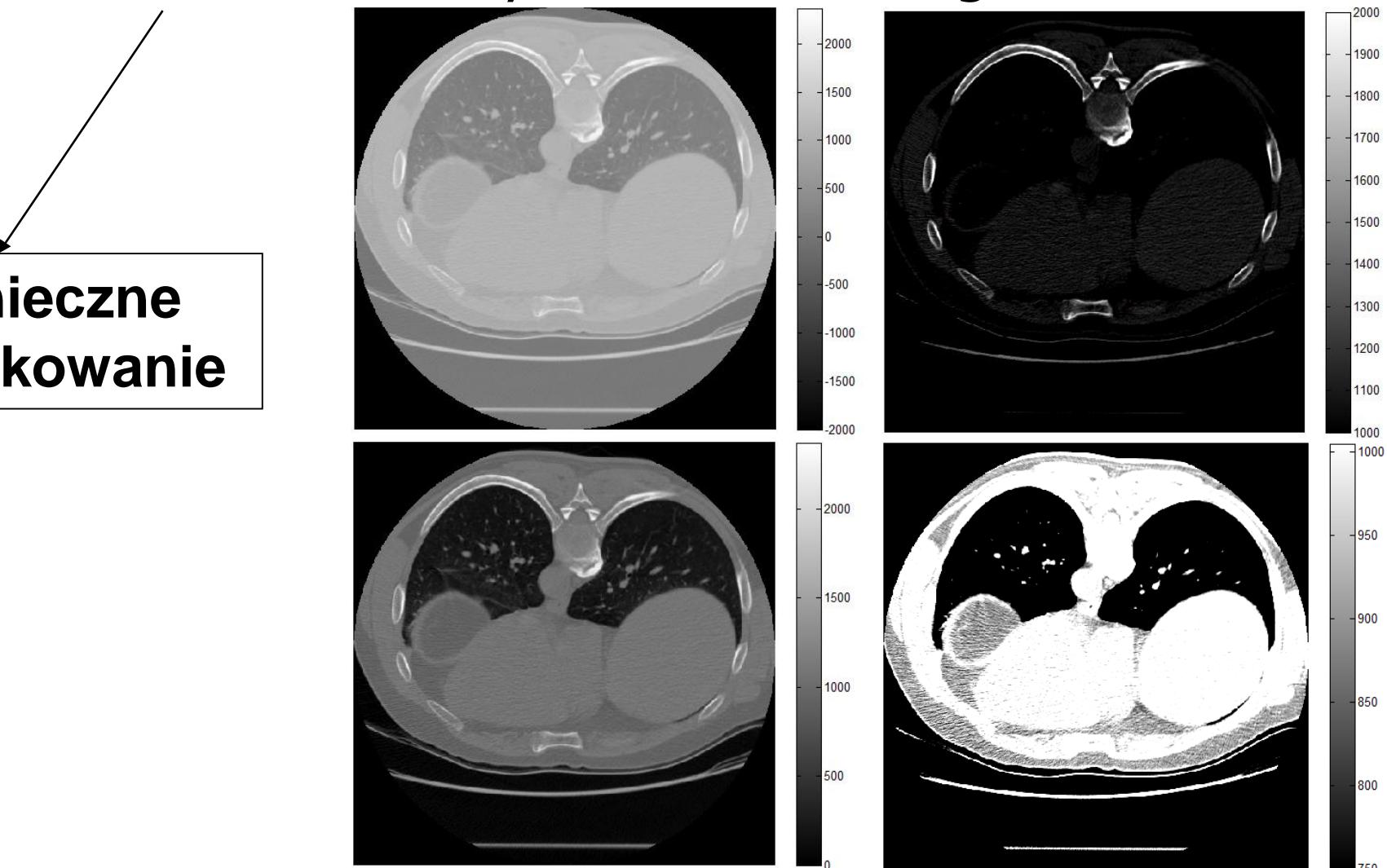


Skala szarości	Zakres skali
2^1	2 wartości
2^2	4 wartości
2^4	16 wartości
2^8	256 wartości

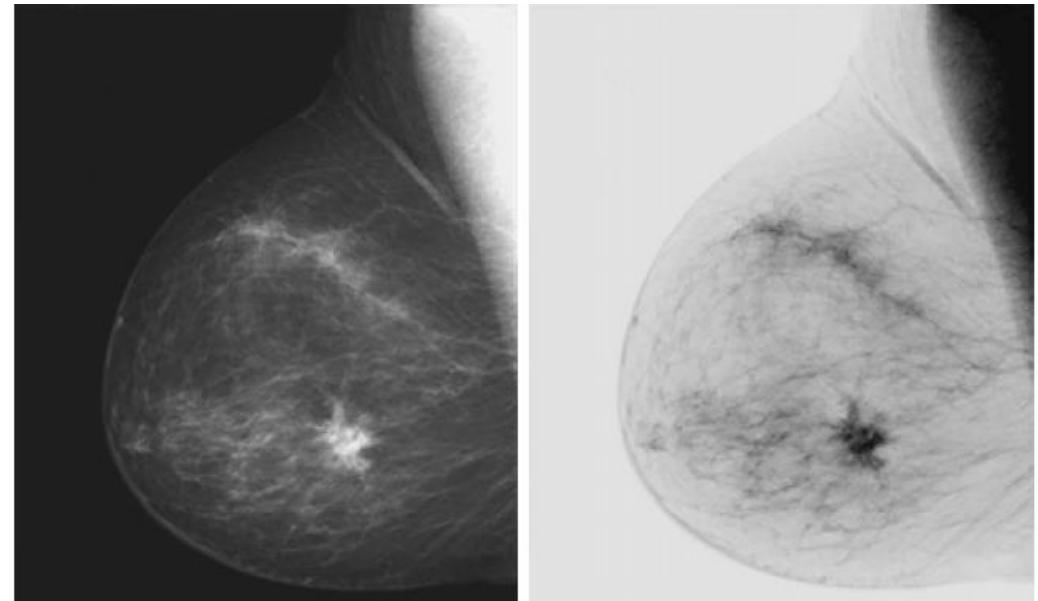
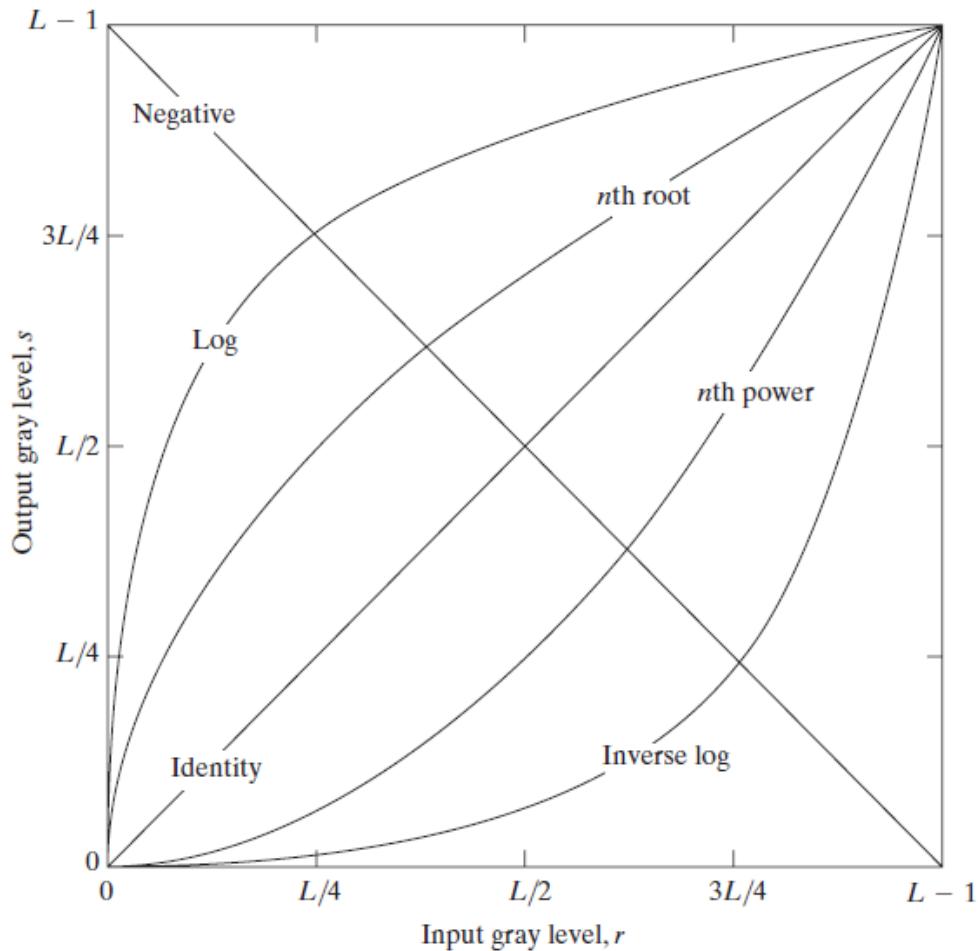
Obrazy – przekrój CT, przypomnienie

Nie ma możliwości wyświetlenia całego zakresu

Konieczne
okienkowanie



Podstawowe transformacje



Negacja

Histogram

Histogram jest funkcją opisującą informację wyekstrahowaną z obrazu.

W procesie wyrównania histogramu, informacja ta jest wykorzystywana do zwiększenia kontrastu obrazu.

Histogram

Funkcja histogramu jest definiowana dla wszystkich możliwych poziomów wartości w obrazie.

Dla każdego poziomu intensywności, wartość ta jest równa liczbie pikseli o danej intensywności.

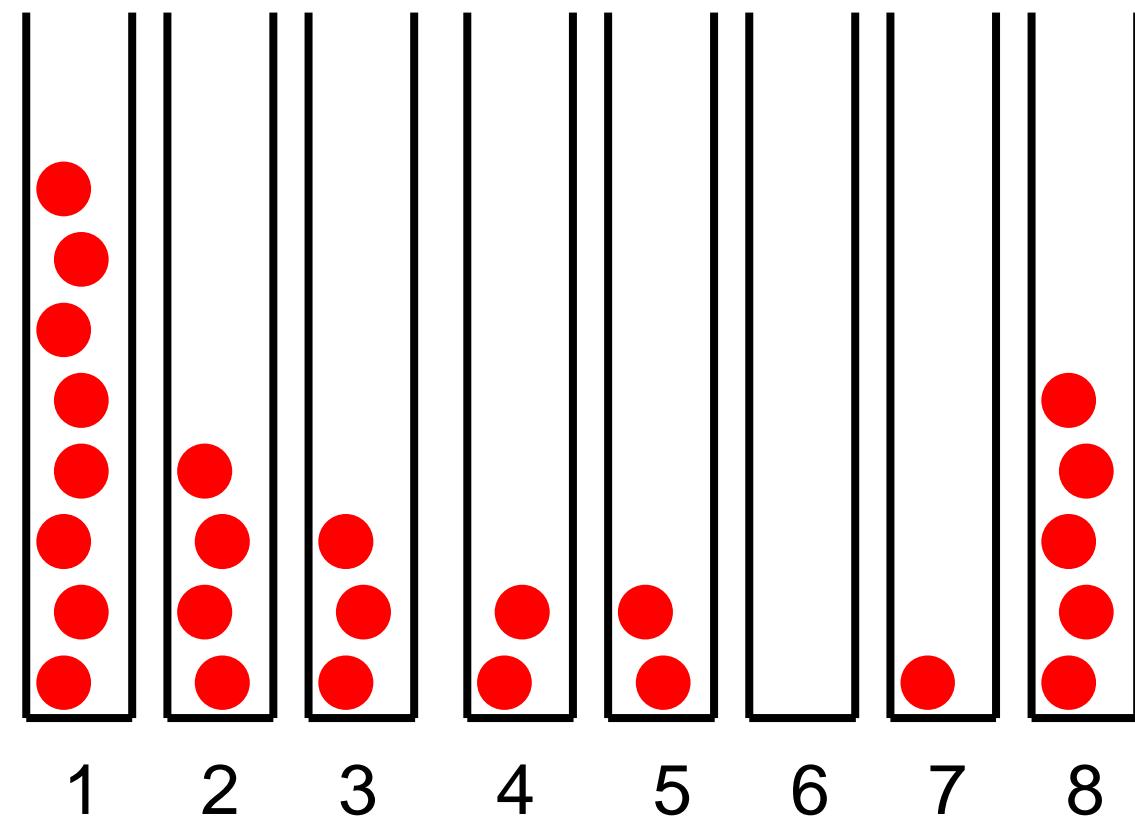
Przykład

Rozważmy obraz 5×5 z wartościami intensywności (całkowitymi) z przedziału 1-8:

1	8	4	3	4
1	1	1	7	8
8	8	3	3	1
2	2	1	5	2
1	1	8	5	2

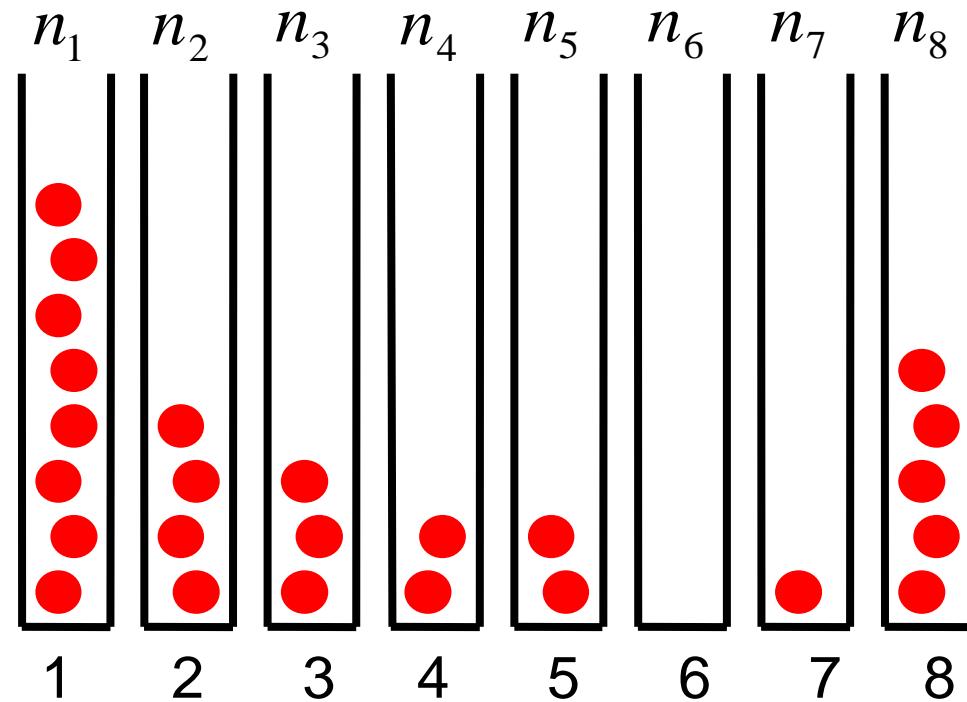
Przykład

1	8	4	3	4	
1	1	1	7	8	
8	8	3	3	3	1
2	2	1	5	2	
1	1	8	5	2	



Funkcja histogramu

$$h(r_k) = n_k$$



Funkcja Histogramu

$$h(r_1) = 8$$

$$h(r_2) = 4$$

$$h(r_3) = 3$$

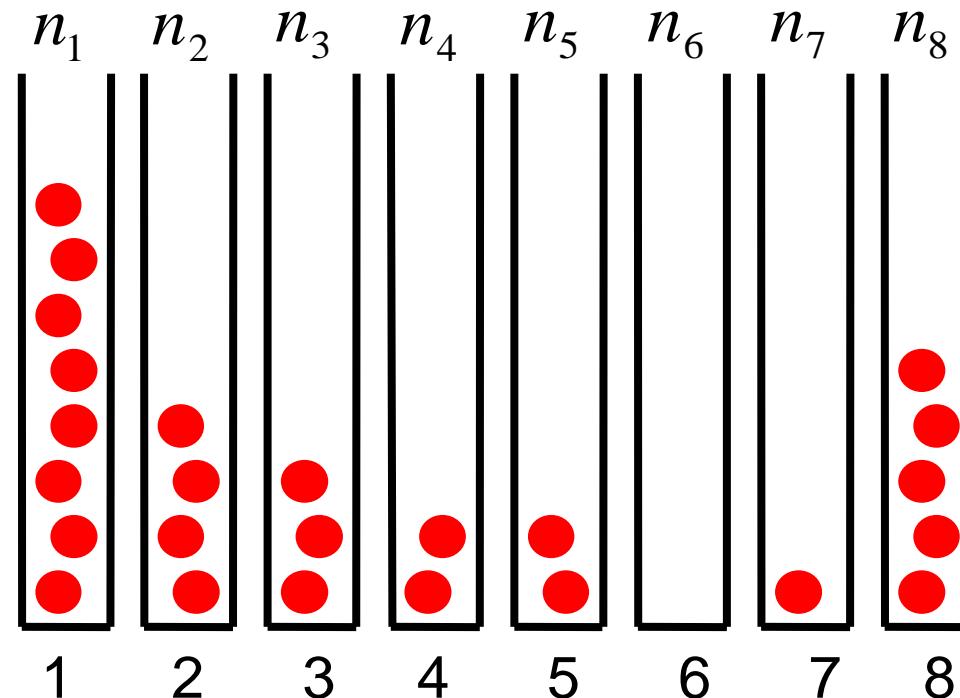
$$h(r_4) = 3$$

$$h(r_5) = 2$$

$$h(r_6) = 0$$

$$h(r_7) = 1$$

$$h(r_8) = 5$$

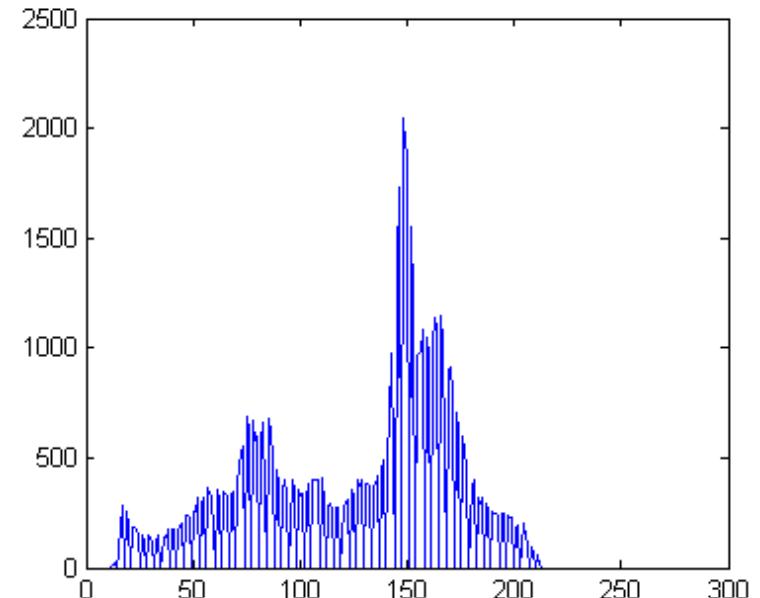


Przykład

Obraz



Graficzna reprezentacja
funkcji histogramu

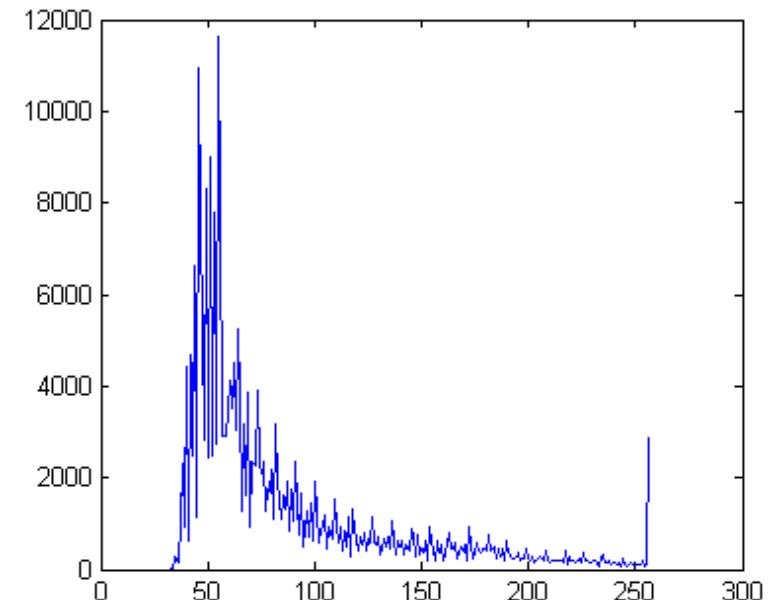


Przykład

Obraz

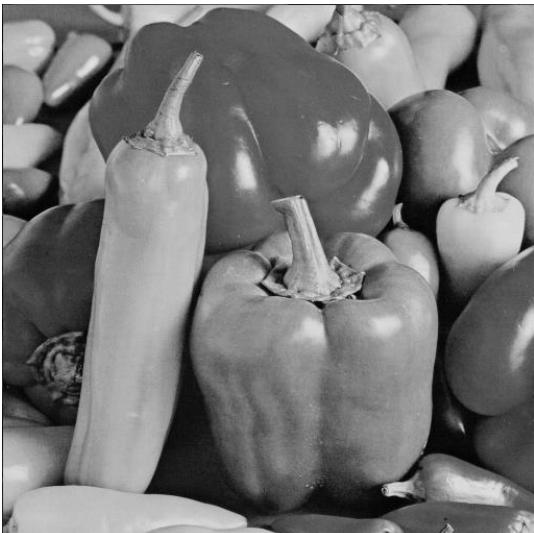


Funkcja histogramu

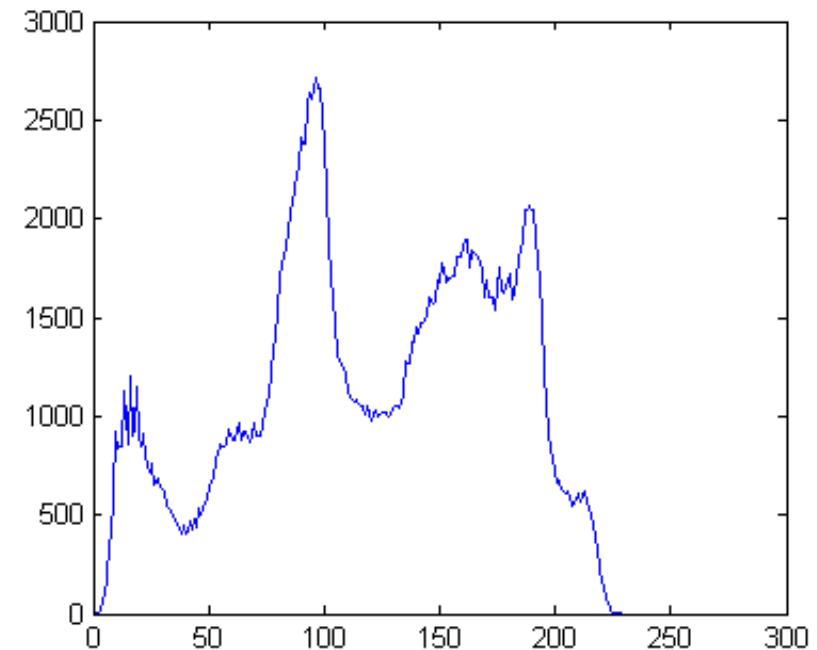


Przykład

Obraz



Funkcja histogramu

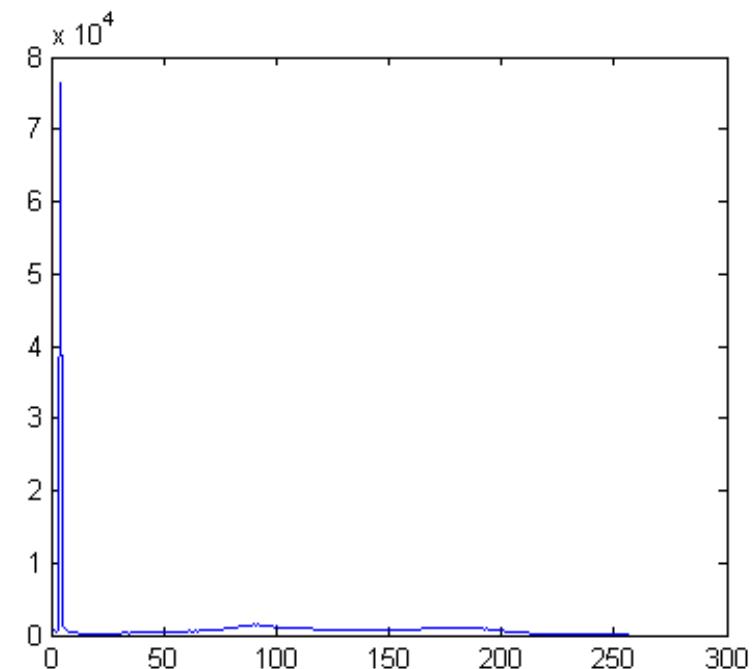


Przykład

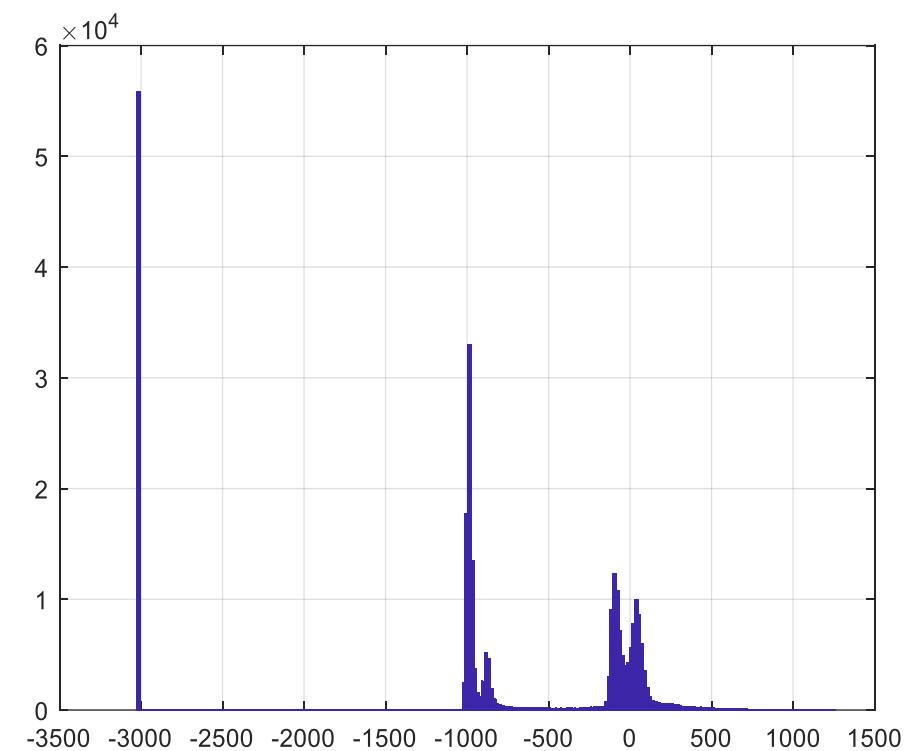
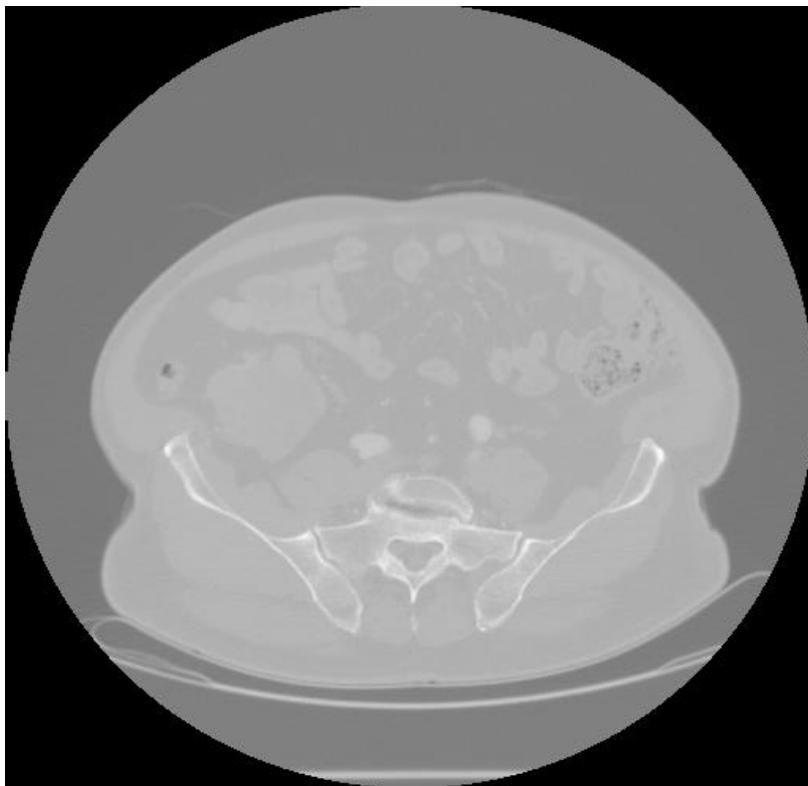
Obraz



Funkcja histogramu



Przykład



Unormowana funkcja histogramu

Unormowana funkcja histogramu jest funkcją histogramu podzieloną przez całkowitą liczbę pikseli w obrazie:

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} = \frac{n_k}{n}$$

Daje informację o prawdopodobieństwie wystąpienia określonej wartości.

Suma znormalizowanej funkcji histogramu po całym zakresie intensywności wynosi 1.

Znormalizowana funkcja histogramu

$$h(r_1) = 8$$

$$h(r_2) = 4$$

$$h(r_3) = 3$$

$$h(r_4) = 2$$

$$h(r_5) = 2$$

$$h(r_6) = 0$$

$$h(r_7) = 1$$

$$h(r_8) = 5$$



$$p(r_1) = 8/25 = 0.32$$

$$p(r_2) = 4/25 = 0.16$$

$$p(r_3) = 3/25 = 0.12$$

$$p(r_4) = 3/25 = 0.08$$

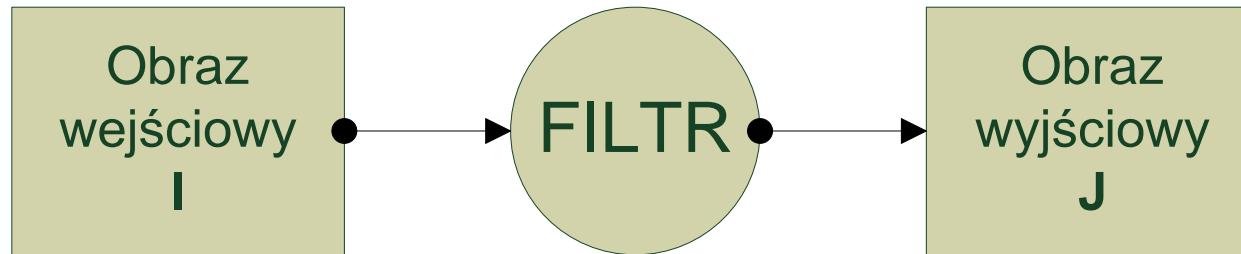
$$p(r_5) = 2/25 = 0.08$$

$$p(r_6) = 0/25 = 0.00$$

$$p(r_7) = 1/25 = 0.04$$

$$p(r_8) = 5/25 = 0.20$$

Cyfrowa filtracja obrazów – podejście klasyczne



Wartość pikseli (wokseli) w obrazie wyjściowym zależą od **wartości piksela** (woksela) w obrazie wejściowym oraz **jego sąsiedztwa** (kontekst)

Filtры:

- Liniowe
- Nieliniowe (np. mediana)

Zastosowanie (m. in.):

- Usuwanie zakłóceń
- Poprawa jakości obrazu, wyostrzanie
- Detekcja cech (krawędzie, narożniki)

Cyfrowa filtracja obrazów – podejście klasyczne

Warunek liniowości

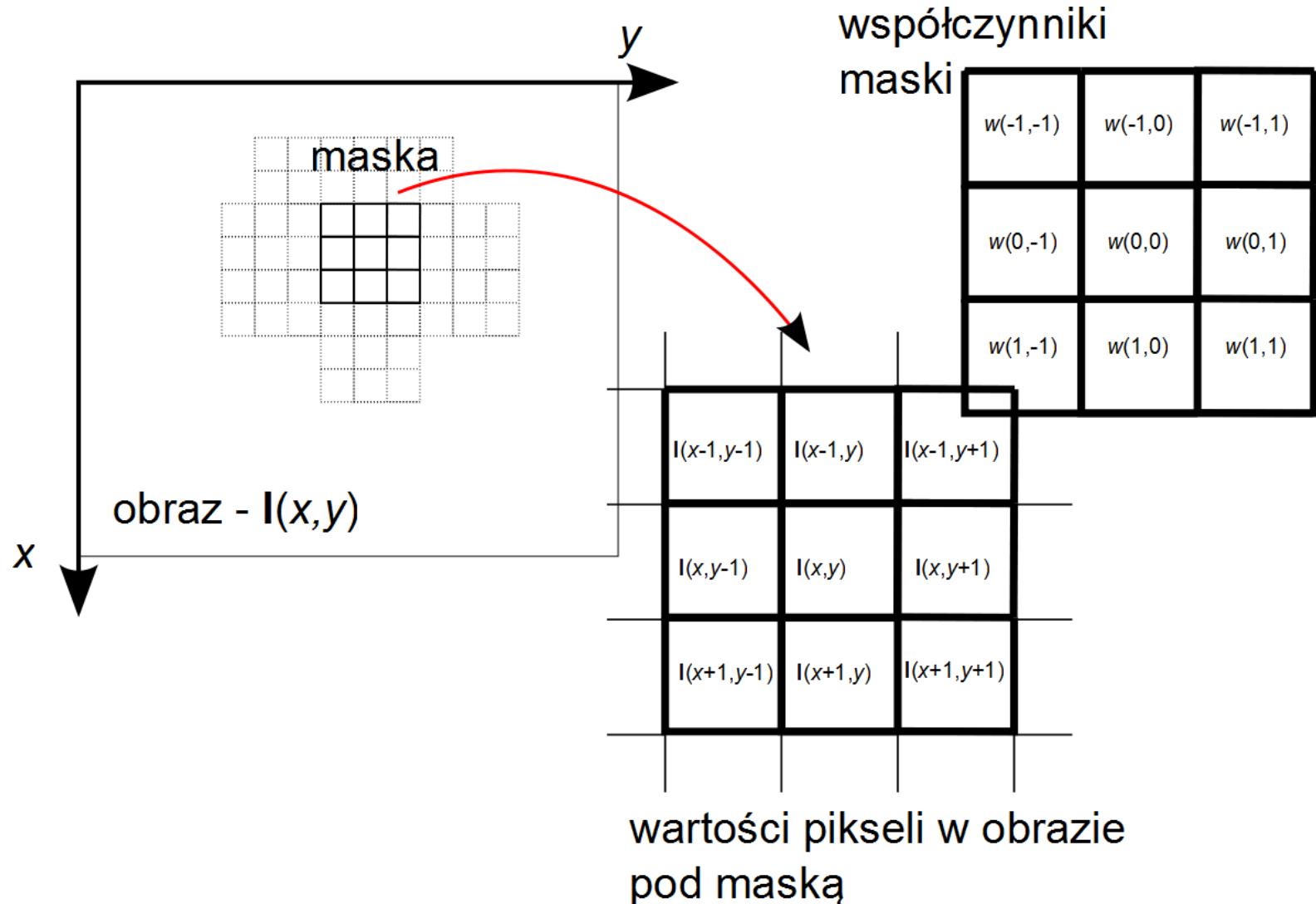
Operator jest liniowy jeżeli dla dwóch dowolnych obrazów **I** i **J** oraz dwóch skalarów a i b zachodzi:

$$H(aI + bJ) = a H(I) + b H(J)$$

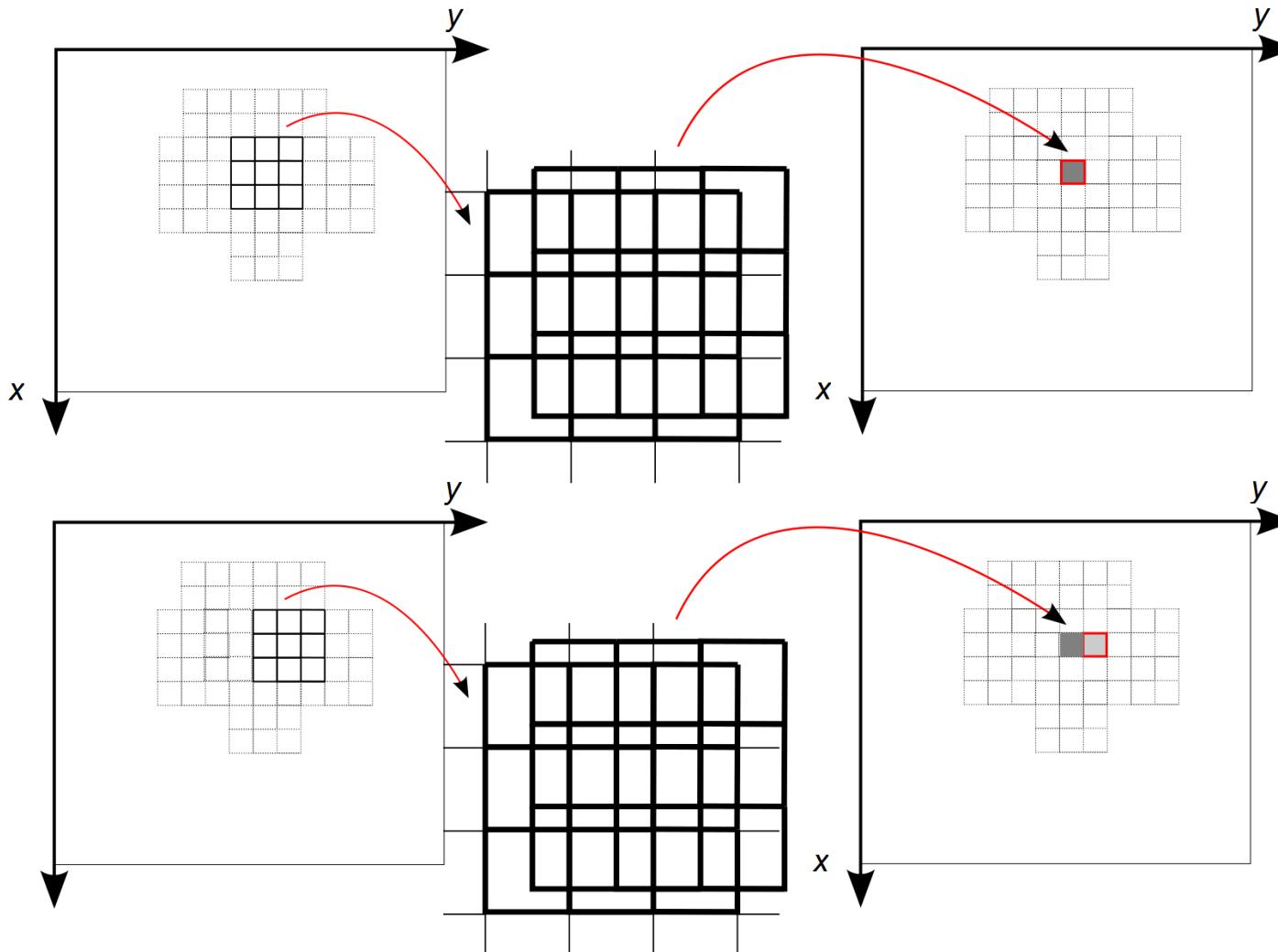
Wynik zastosowania liniowego operatora do sumy dwóch obrazów pomnożonych przez stałe da taki sam wynik jak zastosowanie operatora oddziennie do każdego z obrazów, następnie pomnożenie ich przez wspomniane stałe i dodanie wyników.

- piksel (woksel) obrazu wyjściowego jest **liniową kombinacją** pikseli jego otoczenia w obrazie wejściowym
- **splot** (konwolucja) <- teoria

Cyfrowa filtracja obrazów – podejście klasyczne



Cyfrowa filtracja obrazów – podejście klasyczne



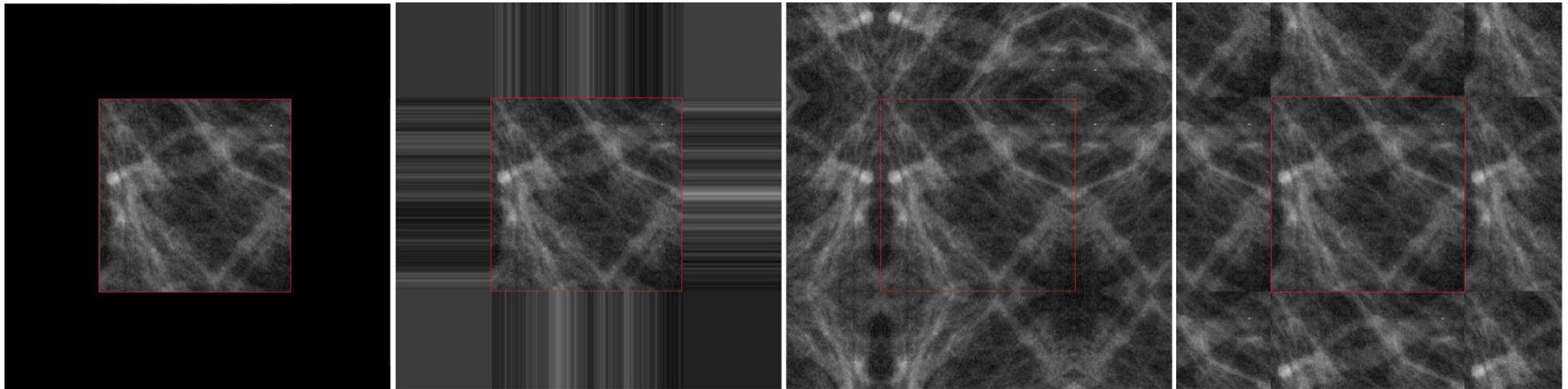
Cyfrowa filtracja obrazów – podejście klasyczne

Ogólnie liniową filtrację obrazu \mathbf{I} o rozmiarze $M \times N$ filtrem o rozmiarze maski $m \times n$ można przedstawić w postaci:

$$\mathbf{J}(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^{t=b} w(s, t) \mathbf{I}(x + s, y + t)$$

gdzie: $a = (m-1)/2$, $b=(n-1)/2$. Cały obraz powstaje po zastosowaniu równania dla $x=0, 1, \dots, M-1$, $y=0, 1, 2, \dots, N-1$

Cyfrowa filtracja obrazów – problem brzegowy



Wypełnij
zerami

Powielenie
wartości
brzegowej

Odbicie
lustrzane

Powielenie
cykliczne

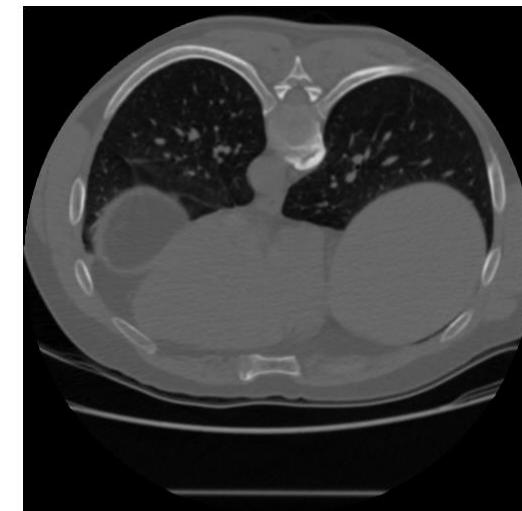
Cyfrowa filtracja obrazów – FILTR UŚREDNIAJĄCY



Maska uśredniająca

$$\frac{1}{9}$$

1	1	1
1	1	1
1	1	1

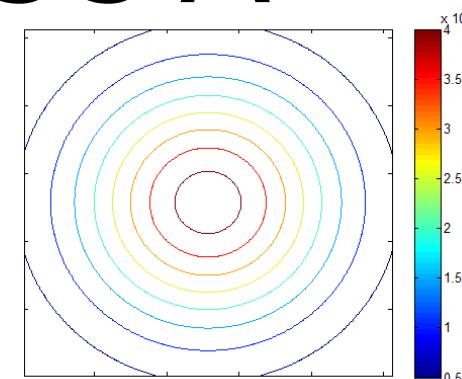
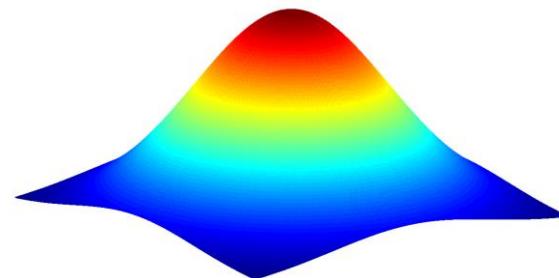


Dlaczego stosujemy normowanie ???



Cyfrowa filtracja obrazów – FILTR GAUSS'A

$$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$



Współczynniki maski wyliczane z powyższej zależności (rozkład normalny)

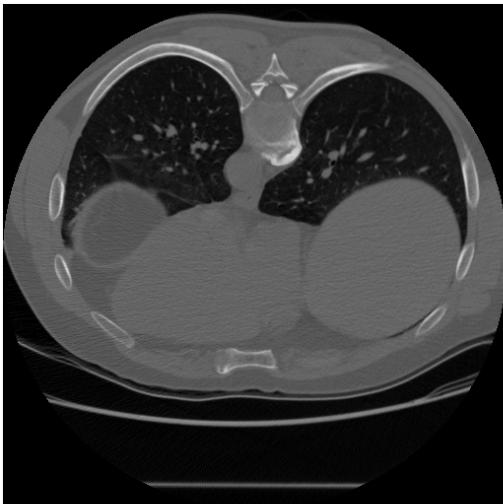
Założenia:

- Centralny element ma współrzędne (0,0)
- $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$

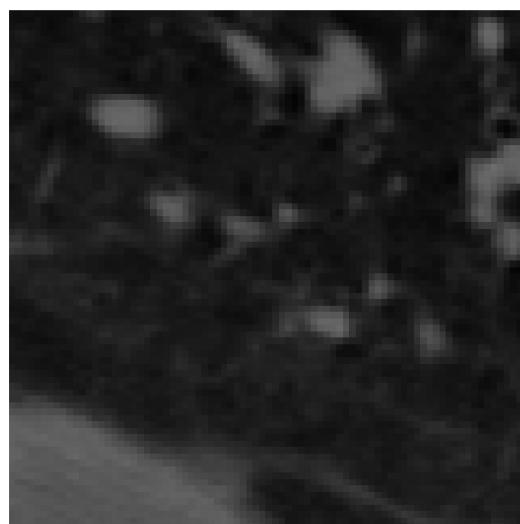
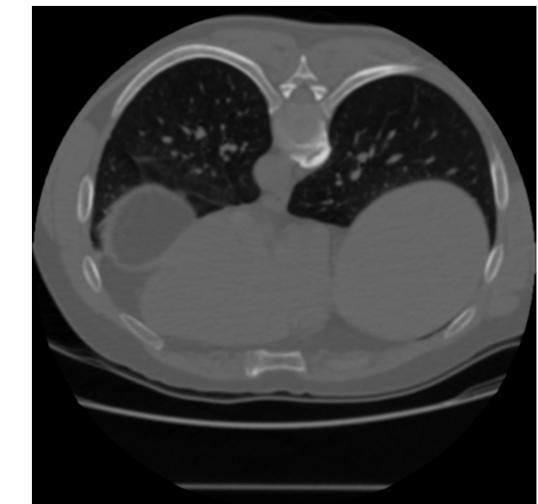
Cechy:

- $\sigma \uparrow$ to rozmycie \uparrow
- Im dalej od punktu centralnego maski tym mniejszy wpływ na wynik

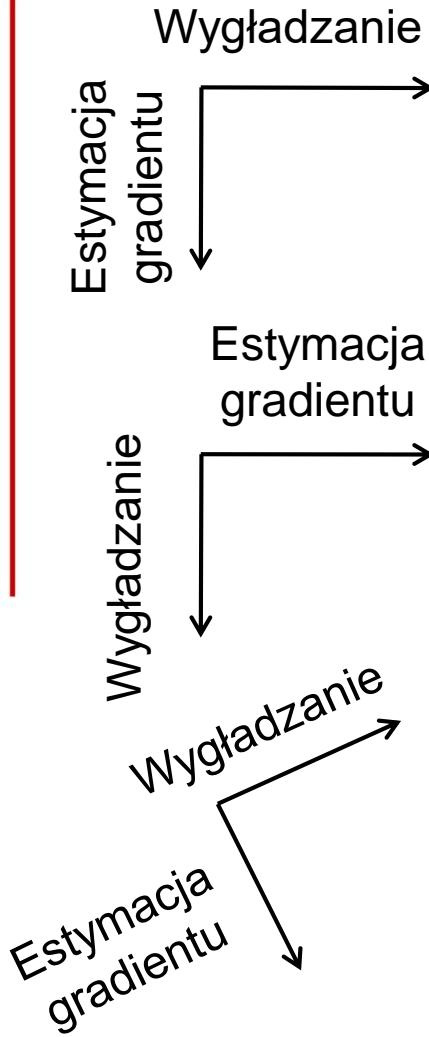
Cyfrowa filtracja obrazów – FILTR GAUSS'A



0.0144	0.0281	0.0351	0.0281	0.0144
0.0281	0.0547	0.0683	0.0547	0.0281
0.0351	0.0683	0.0853	0.0683	0.0351
0.0281	0.0547	0.0683	0.0547	0.0281
0.0144	0.0281	0.0351	0.0281	0.0144



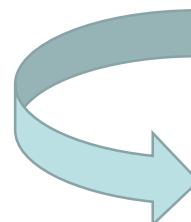
Cyfrowa filtracja obrazów - Maski Kierunkowe Sobel'a



$$h_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} [1 \quad 2 \quad 1] = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} [-1 \quad 0 \quad 1] = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$h_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$



Cyfrowa filtracja obrazów - Maski Kierunkowe Sobel'a

2	1	0
1	0	-1
0	-1	-2

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

0	1	2
-1	0	1
-2	-1	0

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

0	-1	-2
1	0	-1
2	1	0

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

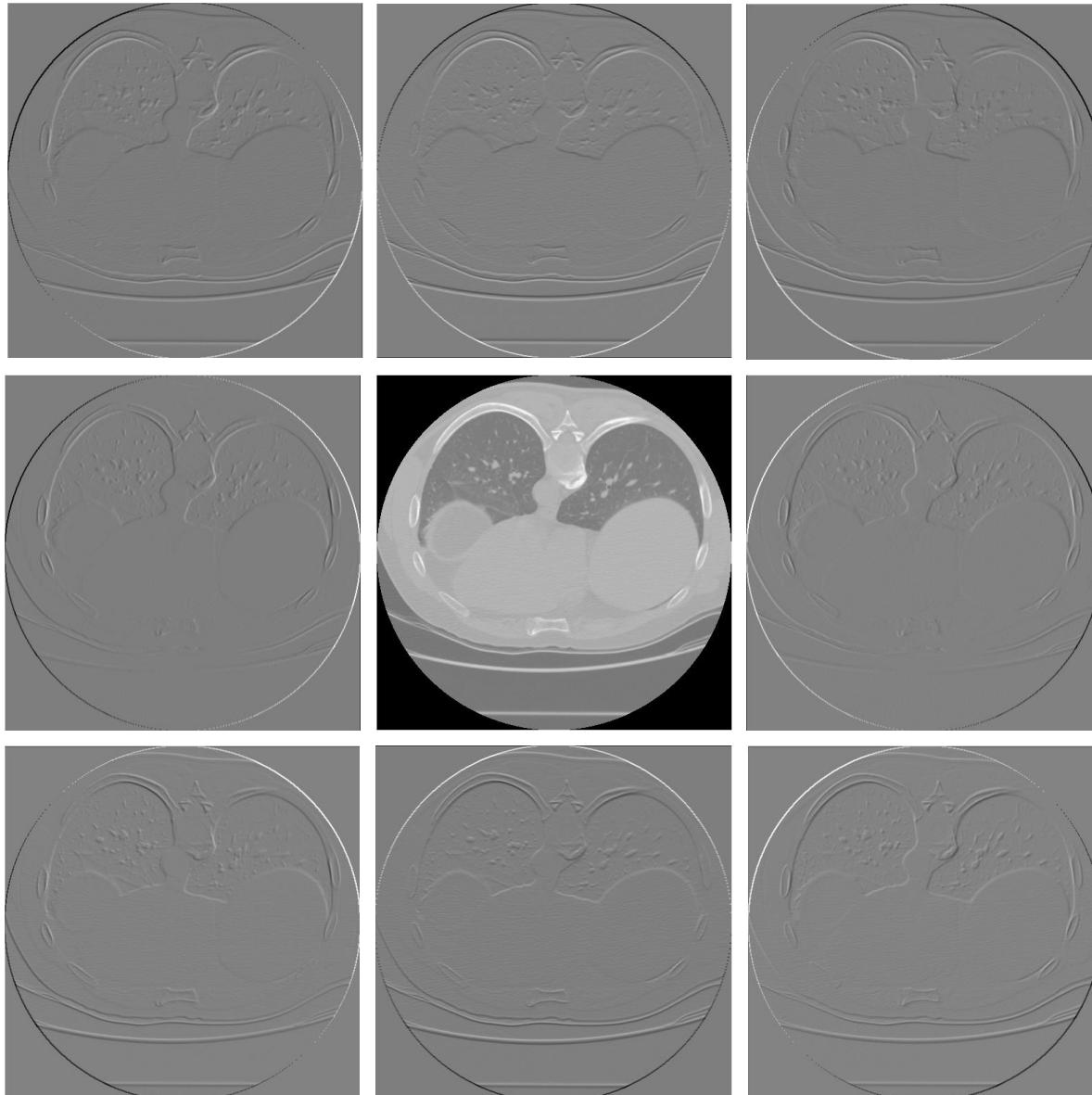
-2	-1	0
-1	0	1
0	1	2

Można wykorzystać do wyliczenia gradientu

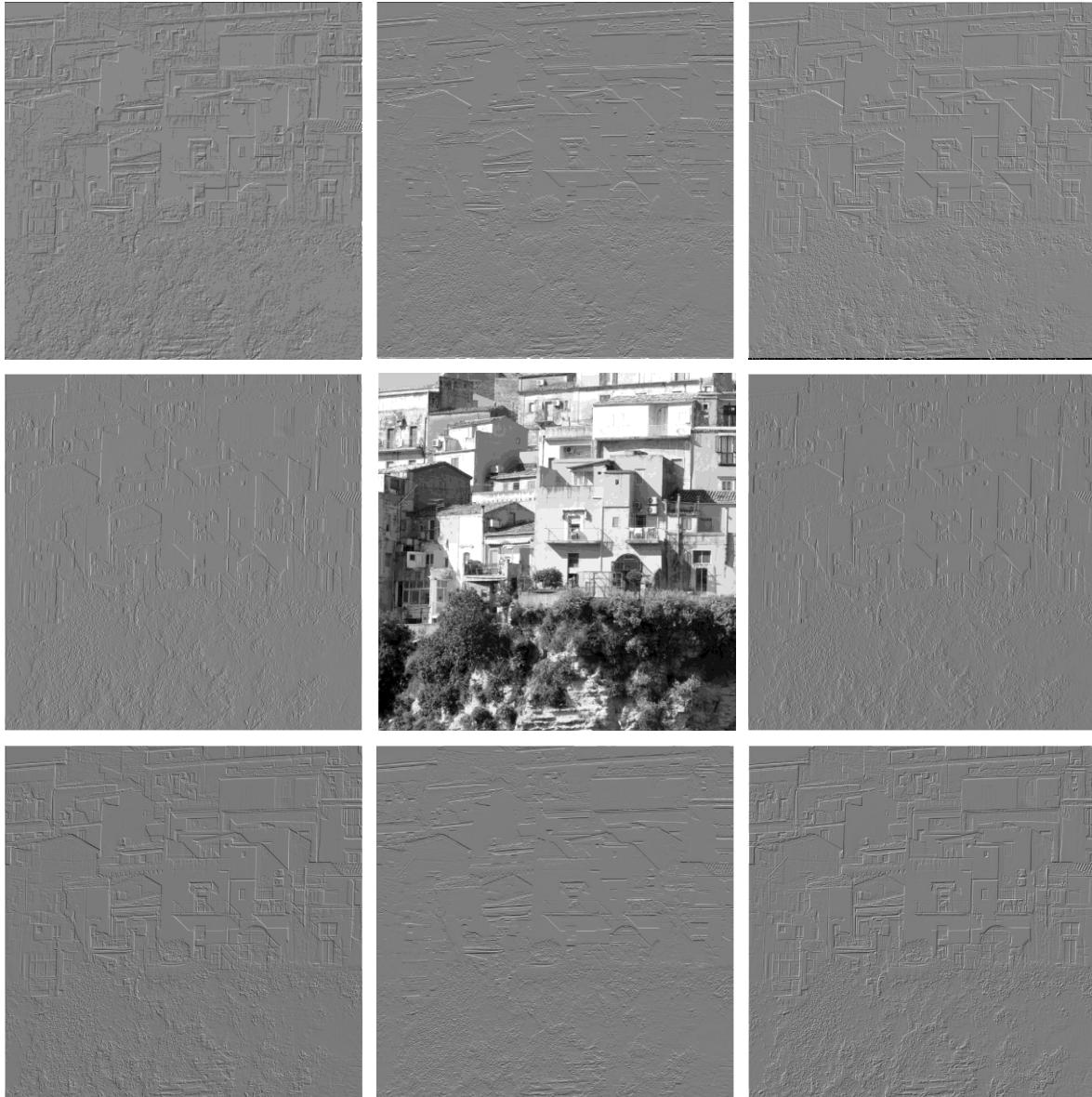
Inne maski pozwalające wykryć krawędzie:

- Prewitt
- Roberts
- LoG

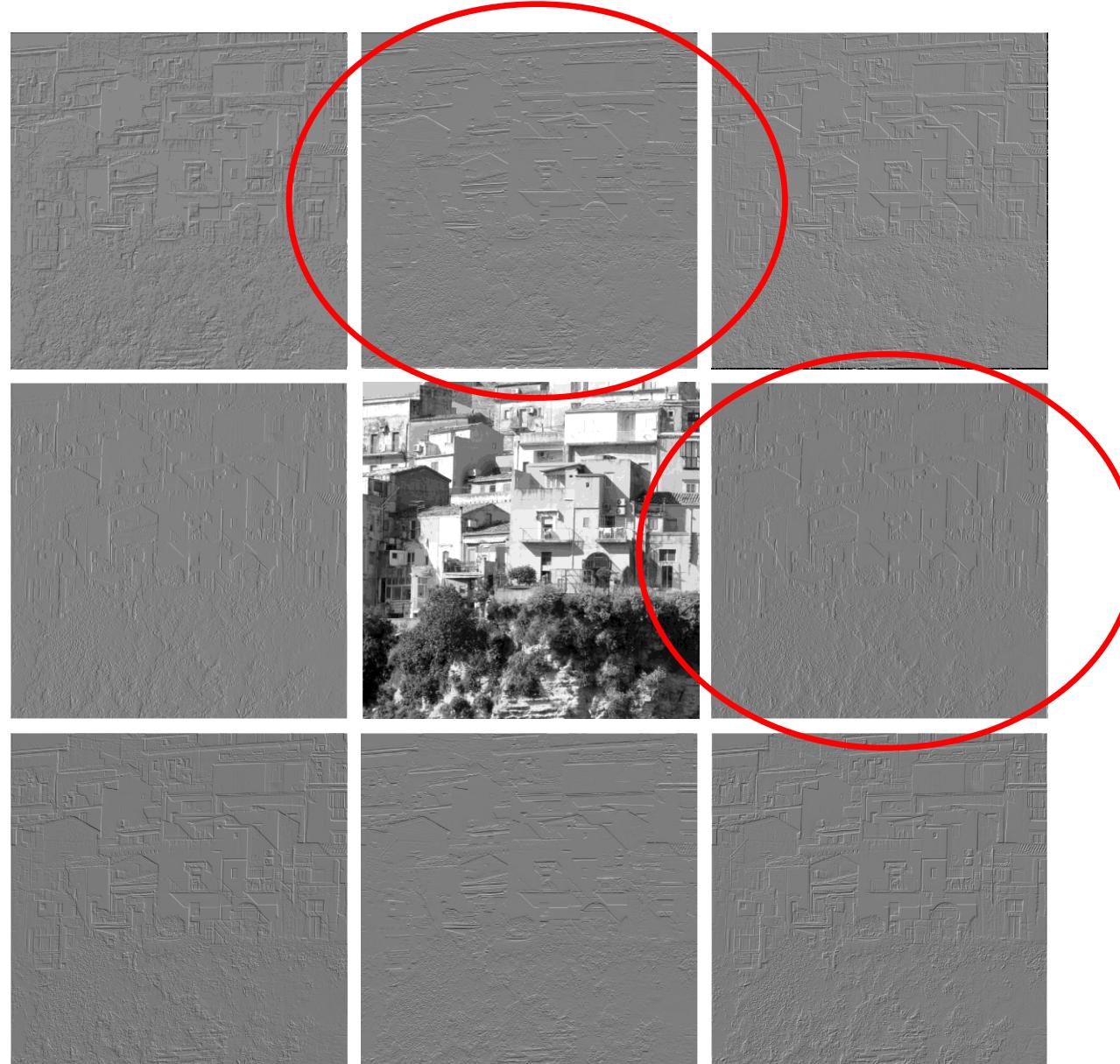
Maski Sobel'a



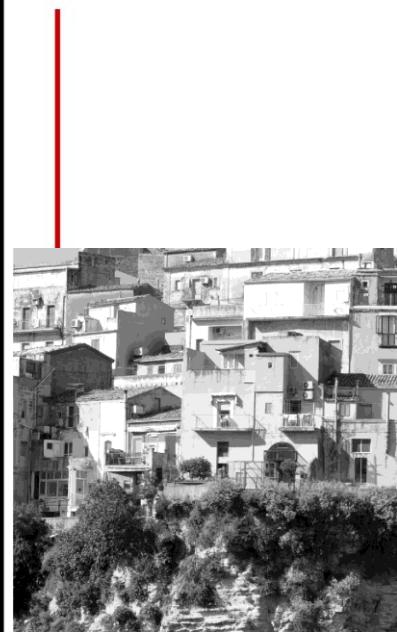
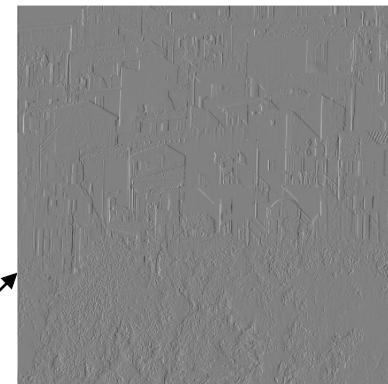
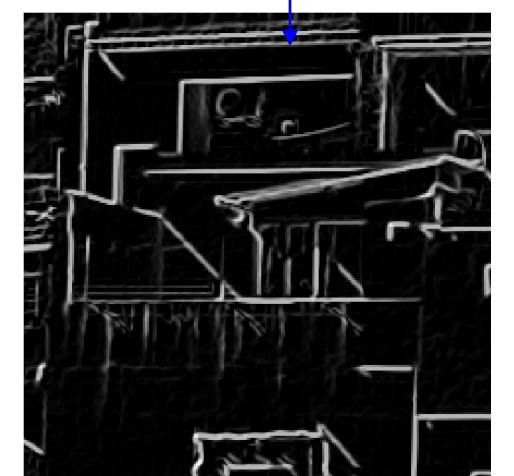
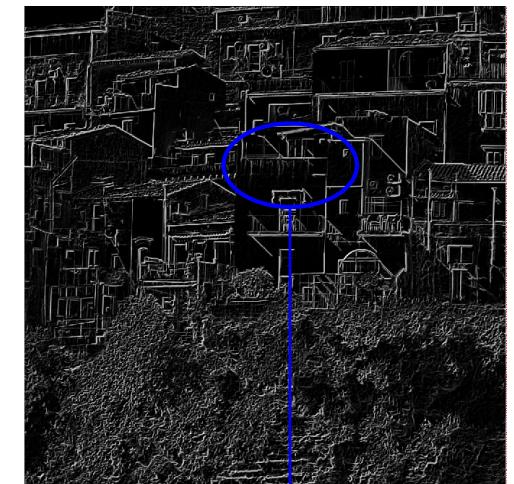
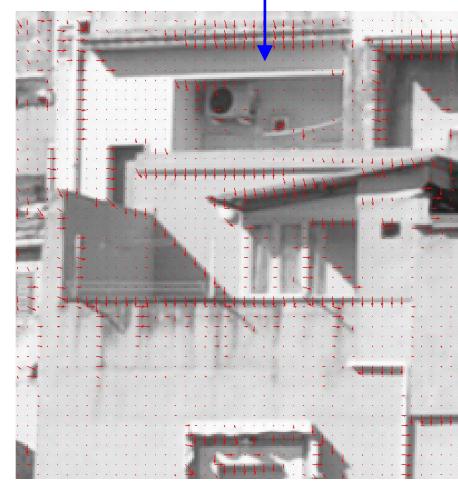
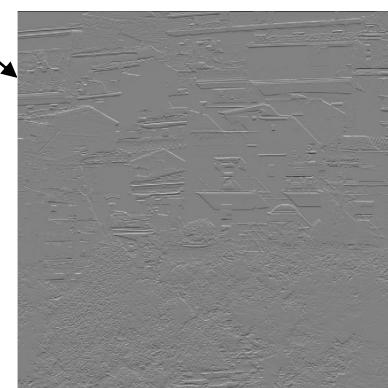
Maski Kierunkowe Sobel'a



Maski Kierunkowe Sobel'a



Gradient

 G_x  G_y 

Czy taki filtr jest liniowy ???

 G

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

MEDIANA

IDEA: Posortuj wartości i wybierz środkową

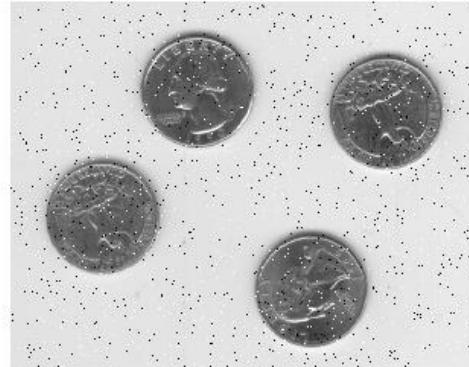
$$\begin{bmatrix} 10 & 15 & 12 \\ 9 & 10 & 9 \\ 10 & 8 & 214 \end{bmatrix}$$

Średnia ? **33**

Mediana ? **10**

Algorytm bardzo skuteczny, do 50% pikseli może „odbiegać od trendu”

MEDIANA



FILTR
UŚREDNIAJĄCY

FILTR
MEDIANOWY



MEDIANA - właściwości

- » Filtr nieliniowy
- » W obrazie wynikowym nie pojawiają się nowe wartości pikseli
- » Zachowuje krawędzie
- » Usuwanie zakłóceń typu impulsowego oraz pieprz & sól

Podsumowanie:

Maska może być dowolna

Proste w użyciu

Ograniczenia

Cyfrowa filtracja obrazów

fspecial

Tworzy maskę filtru określonego typu np.
uśredniającą, Gauss'a itd..

medfilt2

2D filtr medianowy

imfilter

Pozwala przeprowadzić filtrację N wymiarowych
obrazów.

Problem brzegowy:

- 'circular' – powielenie „kołowe”
- 'replicate' – powielenie wartości z sąsiedztwa
- 'symmetric' – odbicie lustrzane
- niezdefiniowane – zera

```
I = imread('cameraman.tif');
H = fspecial('motion', 20, 45);
MotionBlur = imfilter(I, H, 'replicate');
```

Wykrywanie krawędzi – Canny Edge Detector

Detektor wykrywający krawędzie powinien spełnić następujące kryteria:

- Prawdopodobieństwo wykrycia prawdziwiej krawędzi powinno być jak największe przy jednoczesnym minimalizowaniu prawdopodobieństwa fałszywych detekcji.
- Wykryta krawędź powinna znajdować się jak najbliżej rzeczywistej krawędzi

Przykład detektora:
Canny Edge Detector

Canny, J.: *A Computational Approach To Edge Detection*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6):679–698, 1986.

Wykrywanie krawędzi – Canny Edge Detector

Algorytm wykrywania krawędzi CED składa się z następujących kroków:

1. Wygładzenie obrazu w celu usunięcia zakłóceń.
2. Wyznaczenie gradientu.
3. Filtracja niemaksymalnych maksimów Non-maximum suppression (NMS).
4. Progowanie z histerezą.
5. Śledzenie krawędzi.

CED – I. Wygładzenie obrazu w celu usunięcia zakłóceń.

W celu eliminacji zakłóceń zwykle używany filtr Gaussa

$$\frac{1}{159} \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ \hline 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ \hline 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ \hline 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ \hline 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ \hline \end{array}$$

Przykładowa maska $\sigma = 1.4$

CED – II. Gradient

Gradient wyznaczany przy pomocy masek Sobel'a
(możliwe inne rozwiązania)

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

Wylicz:

$$G_X$$

$$G_Y$$

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad \text{lub} \quad |G| = |G_x| + |G_y|$$

CED – II. Gradient

$$\Theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right)$$

Okresowość funkcji:

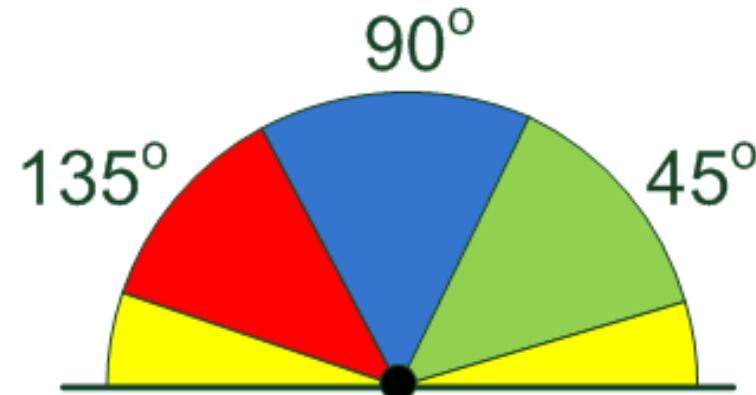
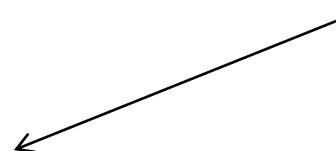
$$180^\circ = 0^\circ$$

$$225^\circ = 45^\circ$$

...

**Tablica kierunków
 Θ' :**

$0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$



CED – III. NMS

- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 0^\circ$ to sprawdź $(x+1,y)$, (x,y) , $(x-1,y)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 90^\circ$ to sprawdź $(x,y+1)$, (x,y) , $(x,y-1)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 45^\circ$ to sprawdź $(x+1,y+1)$, (x,y) , $(x-1,y-1)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 135^\circ$ to sprawdź $(x+1,y-1)$, (x,y) , $(x-1,y+1)$

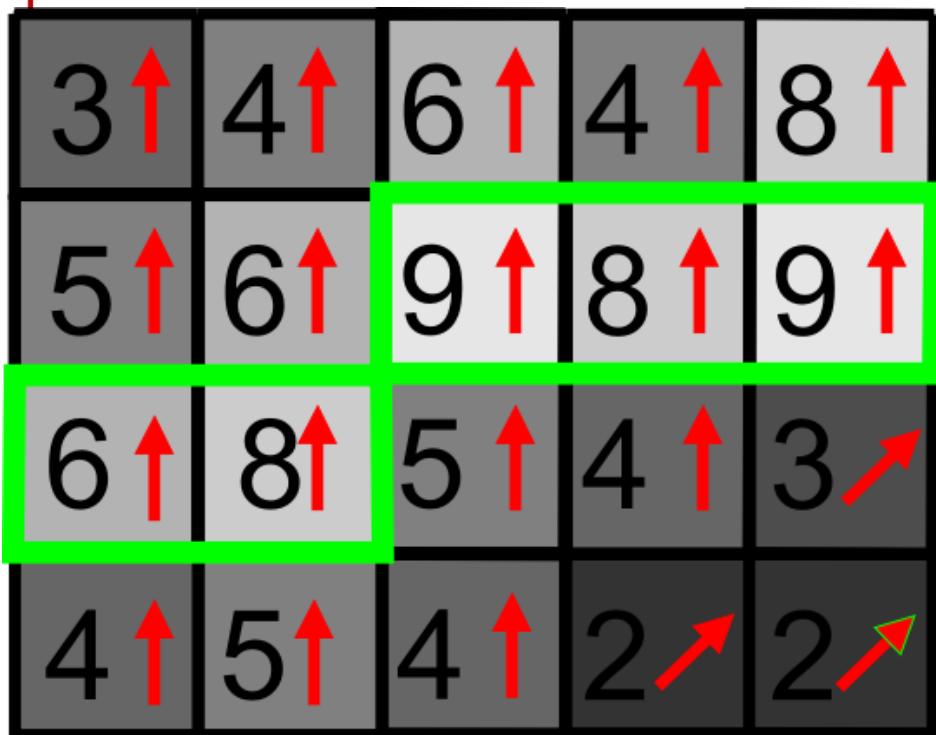


Jeżeli piksel (x,y) ma większą wartość modułu gradientu od badanych zachowaj jako krawędź.

Jeżeli któryś z 2 badanych ma większą wartość modułu gradientu od piksela (x,y) to piksela (x,y) nie klasyfikujemy jako krawędź.

CED – III. NMS

- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 0^\circ$ to sprawdź $(x+1,y)$, (x,y) , $(x-1,y)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 90^\circ$ to sprawdź $(x,y+1)$, (x,y) , $(x,y-1)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 45^\circ$ to sprawdź $(x+1,y+1)$, (x,y) , $(x-1,y-1)$
- » Jeżeli $\Theta'(x,y) = 135^\circ$ to sprawdź $(x+1,y-1)$, (x,y) , $(x-1,y+1)$



Jeżeli piksel (x,y) ma większą wartość modułu gradientu od badanych zachowaj jako krawędź.

Jeżeli któryś z 2 badanych ma większą wartość modułu gradientu od piksela (x,y) to piksela (x,y) nie klasyfikujemy jako krawędź.

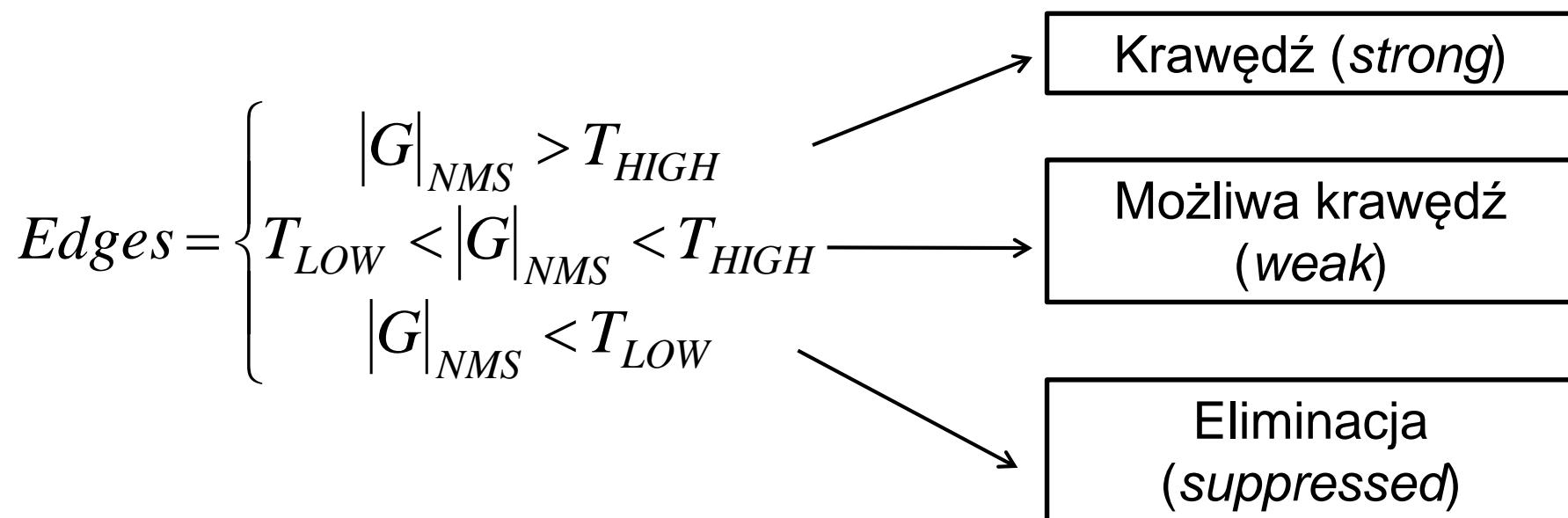
CED – IV. Progowanie z histerezą

Piksele pozostawione po NMS nie zawsze stanowią krawędź obiektu. Wiele z nich stanowi prawdziwe krawędzie w obrazie, jednakże powstały np. w wyniku zakłóceń.

CED – IV. Progowanie z histerezą

Progowanie z histerezą = podwójne progowanie

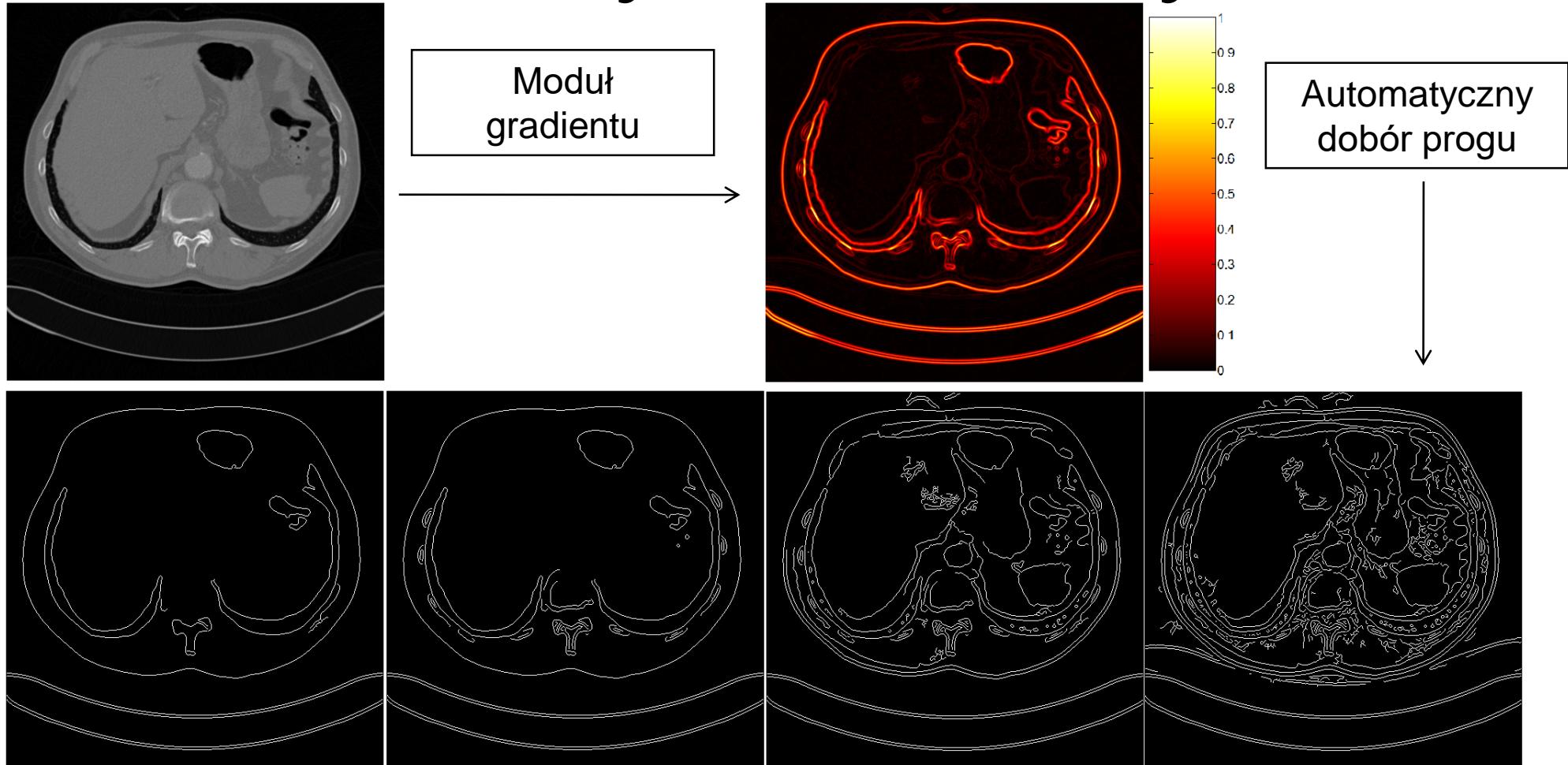
Dwa progi: T_{HIGH} , T_{LOW}



CED – V. Śledzenie krawędzi

- » Piksele zakwalifikowane jako *strong* stanowią krawędzie w obrazie wyjściowym.
- » Piksele zakwalifikowane jako prawdopodobne krawędzie (*weak*) muszą zostać dodatkowo sprawdzone.
- » Słabe krawędzie są znaczone jako krawędzie w obrazie wynikowym **tyko wtedy gdy** są połączone z pikselami zakwalifikowanymi jako *strong*.

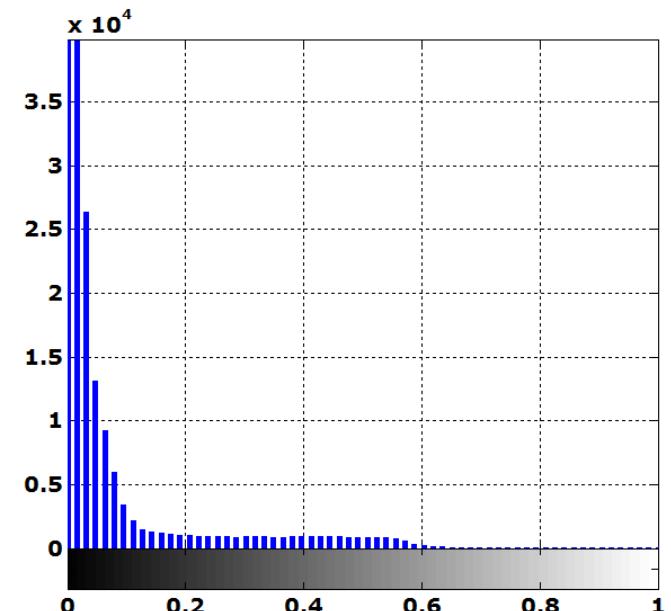
CED – Przykładowe wyniki



CED – Przykładowa metoda doboru progu

1. Normowanie modułu gradientu $|G| \rightarrow [0,1]$

2. Wyznacz histogram z unormowanego $|G|$



CED – Przykładowa metoda doboru progu

1. Normowanie modułu gradientu $|G| \rightarrow [0,1]$

2. Wyznacz histogram z unormowanego $|G|$

3. Wyznacz histogram kumulacyjny

4. Kryterium wyboru

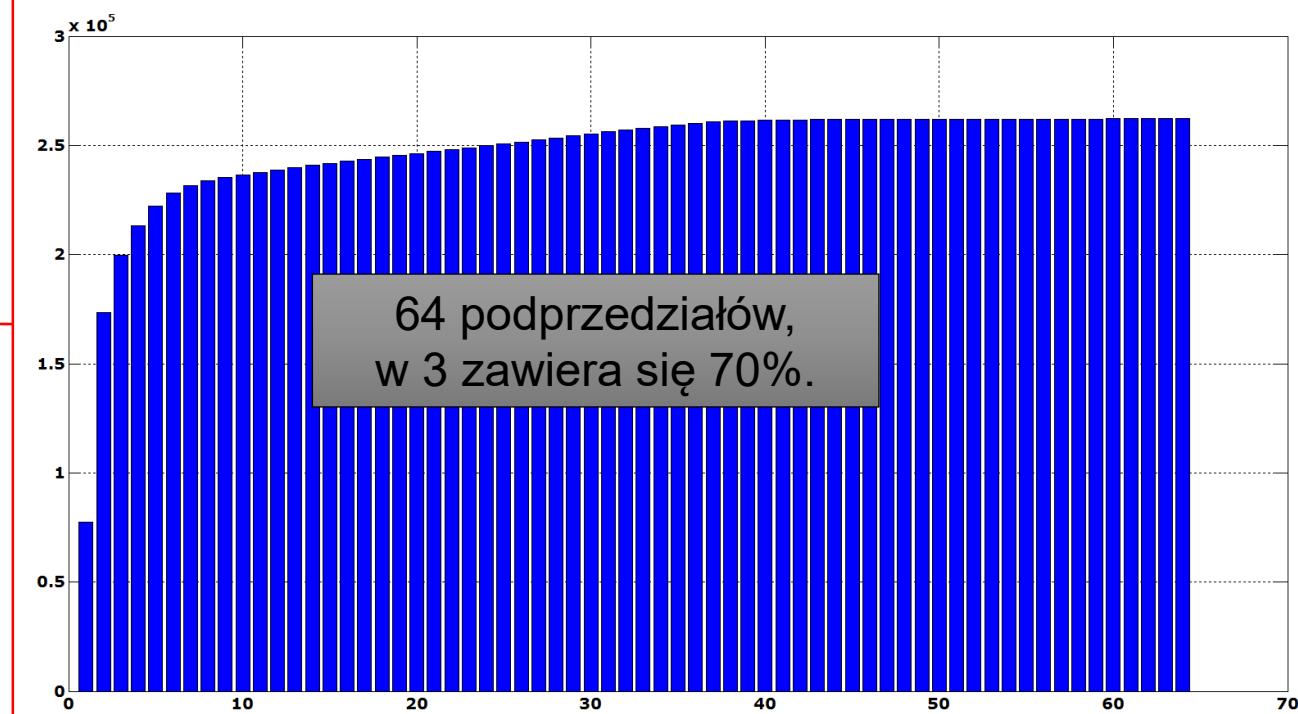
T_{HIGH}

np. 70% pikseli nie
stanowi krawędzi

5.

$$T_{HIGH} = 1/64 * 3$$

$$T_{LOW} = 0.4 \cdot T_{HIGH}$$



Uwaga na format danych !!!

$$\begin{array}{ccc} \text{uint8} \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \end{pmatrix} & \xrightarrow{\quad \quad \quad} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \\ & & \text{Brzegi: zera} \\ & & \xrightarrow{\quad \quad \quad} \\ \text{int8} \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \end{pmatrix} & & \end{array}$$

Jaki będzie wynik filtracji ???

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 5 & 8 & 5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -5 & -8 & -5 \\ 0 & 0 & 0 \\ 5 & 8 & 5 \end{bmatrix}$$