

## WYKŁAD 4

### Detekcja krawędzi, operacje morfologiczne

**Detekcja** (wykrywanie) krawędzi (edge detection) – jest to technika segmentacji obrazu, polegająca na znajdowaniu pikseli krawędziowych przez sprawdzanie ich sąsiedztwa.

**Krawędź** – zbiór pikseli na krzywej mający taką właściwość, że piksele w ich sąsiedztwie, lecz po przeciwnych stronach krzywej mają różne poziomy jasności.

Cel detekcji: znalezienie lokalnych **nieciągłości** w poziomach jasności obrazu oraz granic obiektów znajdujących się w scenie.

#### Przykłady masek FG detekcji krawędzi:

	maska 1	maska 2	maska 3	ogólnie
	$y-1$ $y$ $y+1$			
$x-1$	1 -2 1	-1 -1 -1	0 -1 0	$w_1$ $w_2$ $w_3$
$x$	-2 5 -2	-1 9 -1	-1 5 -1	$w_4$ $w_5$ $w_6$
$x+1$	1 -2 1	-1 -1 -1	0 -1 0	$w_7$ $w_8$ $w_9$

#### Obliczanie wartości piksla obrazu wynikowego

$$g(x,y) = w_1f(x-1,y-1) + w_2f(x-1,y) + w_3f(x-1,y+1) + \\ + w_4f(x,y-1) + w_5f(x,y) + w_6f(x,y+1) + \\ + w_7f(x+1,y-1) + w_8f(x+1,y) + w_9f(x+1,y+1)$$

Uwaga: W przypadku operacji wyostrażania oraz detekcji krawędzi macierz wag oraz maska są równoważne. Oznacza to, że współczynnik maski  $K=1$ .

Przykład:

$f(x,y)$

		$y$						
		1	2	3	4	5	6	7
$x$	1	4	4	4	8	8	8	8
	2	4	4	4	8	8	8	8
	3	4	4	4	8	8	8	8
	4	4	4	4	8	8	8	8
	5	4	4	4	8	8	8	8

FG

$\Rightarrow$

$g(x,y)$

		$y$						
		1	2	3	4	5	6	7
$x$	1	X	X	X	X	X	X	X
	2	X	4	-8	20	8	8	X
	3	X	4	-8	20	8	8	X
	4	X	4	-8	20	8	8	X
	5	X	X	X	X	X	X	X

Np. dla maski drugiej:

$$g(2,2) = -32 + 36 = 4;$$

$$g(2,3) = -20 - 24 + 36 = -8;$$

$$g(2,4) = -12 - 40 + 72 = 20;$$

$$g(2,5) = -64 + 72 = 8$$

Typowe wymiary masek: 3 x 3, 5 x 5, 9 x 9,

Czas obliczeń: x 1, x 2,7, x 9.

Poziom jasności:

- obiekty, tło:  $g(x,y) \cong 0$

- krawędzie:  $g(x,y) \cong L_{max}$

## Metoda specjalnego gradientu

Stosowana w przypadkach, gdy metody filtracji górnoprzepustowej (FG) powodują wzmocnienie zakłóceń w obszarach leżących **wewnątrz** konturu.

Zasada: krawędź uznana jest za istniejącą, jeśli wartość gradientu intensywności w pewnych punktach przekracza ustalony próg.

Metody aproksymacji: **Roberts**, **Sobela**, **Prewitta**.

Oznaczenia pikseli:

$f_0$	$f_1$	$f_2$	— (i,j)
$f_3$	$f_4$	$f_5$	
$f_6$	$f_7$	$f_8$	

## Metoda Roberts

$$R(i, j) = \sqrt{(f_4 - f_8)^2 + (f_7 - f_5)^2}; \quad \alpha = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{f_7 - f_5}{f_4 - f_8}\right)$$

gdzie:  $R(i, j)$  - specjalny gradient w punkcie (i,j)  
 $\alpha$  - kierunek gradientu intensywności.

**Metoda Sobela:** - dwie składowe gradientu:

$$S_x = (f_2 + 2f_5 + f_8) - (f_0 + 2f_3 + f_6)$$

$$S_y = (f_6 + 2f_7 + f_8) - (f_0 + 2f_1 + f_2)$$

$$S(x, y) = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

Maski konwolucyjne:

Roberts

1	0	0	-1
0	-1	1	0

$G_x$

$G_y$

Sobel:

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

$G_x$

$G_y$

Prewitt:

1	0	-1	1	1	1
1	0	-1	0	0	0
1	0	-1	-1	-1	-1

$G_x$

$G_y$

Przykład:

1	0
0	-1

0	-1
1	0

$G_x$

$G_y$

operator  
Robertsa

$[p(i,j)]$

2	5	6	2
3	1	3	4
2	3	5	1

$[q(i,j)]$

3	7	3	X
1	4	3	X
X	X	X	X

Maski  
konwolucyjne

$$G_x = p(i, j) - p(i + 1, j + 1); \quad G_y = p(i + 1, j) - p(i, j + 1)$$

$$G_{xy} = |G_x| + |G_y|; \quad q(1,1) = |2 - 1| + |5 - 3| = |1| + |2| = 3$$

operator  
Sobela

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

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

$G_x$

$G_y$

$[p(i,j)]$

$[q(i,j)]$

3	4	2	5	1
2	1	6	4	2
3	5	7	1	3
4	2	5	7	1
2	5	1	3	2

X	X	X	X	X
X	13			X
X				X
X				X
X	X	X	X	X

$$S_x = [p(i-1, j-1) + 2p(i, j-1) + p(i+1, j-1)] - [p(i-1, j+1) + 2p(i, j+1) + p(i+1, j+1)]$$

$$S_y = [p(i+1, j-1) + 2p(i+1, j) + p(i+1, j+1)] - [p(i-1, j-1) + 2p(i-1, j) + p(i-1, j+1)]$$

dla piksla  $p(2,2)$ :

$$\begin{cases} S_x = 3 + 4 + 3 - 2 - 12 - 7 = 11 \\ S_y = -3 - 8 - 2 + 3 + 10 + 7 = 17 \\ S_{x,y} = \sqrt{11^2 + 17^2} = \sqrt{170} \approx 13 \end{cases}$$

### Zalety i wady metody gradientowej:

- nieuwydatnianie zakłóceń (tak jak w FG),
- w obrazach o małej kontrastowości kłopoty z interpretacją wyników.

Wniosek: konieczność zastosowania techniki opartej na metodzie **poszukiwania krawędzi o z góry zadany kształcie**.

### **Metoda uzgadniania wzorca**

Uzgadnianie obrazu metodą konwolucji ze wzorcem danej, idealnej krawędzi, tzn. z maską krawędzi.

Maski **Prewitta** do detekcji krawędzi w formie narożników o różnych ustalonych kierunkach:

N	NE	E	SE																																				
<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	1	1	1	1	-2	1	-1	-1	-1	<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	-1	-2	1	-1	-1	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	1	1	-1	-2	1	-1	1	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	1	-1	-2	1	1	1	1
1	1	1																																					
1	-2	1																																					
-1	-1	-1																																					
1	1	1																																					
-1	-2	1																																					
-1	-1	1																																					
-1	1	1																																					
-1	-2	1																																					
-1	1	1																																					
-1	-1	1																																					
-1	-2	1																																					
1	1	1																																					
S	SW	W	NW																																				
<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	-1	1	-2	1	1	1	1	<table border="1"><tr><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	-1	-1	1	-2	-1	1	1	1	<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr></table>	1	1	-1	1	-2	-1	1	1	-1	<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr></table>	1	1	1	1	-2	-1	1	-1	-1
-1	-1	-1																																					
1	-2	1																																					
1	1	1																																					
1	-1	-1																																					
1	-2	-1																																					
1	1	1																																					
1	1	-1																																					
1	-2	-1																																					
1	1	-1																																					
1	1	1																																					
1	-2	-1																																					
1	-1	-1																																					

Metoda **Kirscha**: wartość piksła (i,j) jest zmieniana według wzoru:

$$g(i, j) = \max_{k=0}^7 \{1, \max[|5S_k - 3T_k|]\}$$

gdzie:  $S_k = f_k + f_{k+1} + f_{k+2}$ ;  $T_k = f_{k+3} + f_{k+4} + f_{k+5} + f_{k+6} + f_{k+7}$

f - obraz źródłowy, g - obraz wynikowy

Indeksy punktów obrazu f - wartości modulo 8

Numeracja piksli:

0	1	2
7	i,j	3
6	5	4

Maski odpowiadające operatorowi Kirscha (maski Kirscha):

<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>	<b>SE</b>																																				
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> </table>	3	3	3	3	0	3	-5	-5	-5	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> </table>	3	3	3	-5	0	3	-5	-5	3	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> </table>	-5	3	3	-5	0	3	-5	3	3	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> </table>	-5	-5	3	-5	0	3	3	3	3
3	3	3																																					
3	0	3																																					
-5	-5	-5																																					
3	3	3																																					
-5	0	3																																					
-5	-5	3																																					
-5	3	3																																					
-5	0	3																																					
-5	3	3																																					
-5	-5	3																																					
-5	0	3																																					
3	3	3																																					
<b>S</b>	<b>SW</b>	<b>W</b>	<b>NW</b>																																				
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> </table>	-5	-5	-5	3	0	3	3	3	3	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> </table>	3	-5	-5	3	0	-5	3	3	3	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> </table>	3	3	-5	3	0	-5	3	3	-5	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td><td style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-5</td></tr> </table>	3	3	3	3	0	-5	3	-5	-5
-5	-5	-5																																					
3	0	3																																					
3	3	3																																					
3	-5	-5																																					
3	0	-5																																					
3	3	3																																					
3	3	-5																																					
3	0	-5																																					
3	3	-5																																					
3	3	3																																					
3	0	-5																																					
3	-5	-5																																					

## Przykład: porównanie operatorów Prewitta i Kirscha

SW (Prewitt)

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

[p(i,j)]

					$j$
	15	15	14	13	14
	14	14	13	12	12
	4	5	12	11	12
	5	3	4	5	6
$i$	1	0	3	2	4

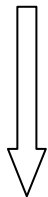


[q(i,j)]

					$j$
	x	x	x	x	x
	x	-10	2	-1	x
	x	-39	-19	-18	x
	x	-24	-11	-14	x
$i$	x	x	x	x	x

SW

3	-5	-5
3	0	-5
3	3	3



(Kirsch)

[q(i,j)]

					$j$
	x	x	x	x	x
	x				x
	x	-105			x
	x				x
$i$	x	x	x	x	x

$$q_{22} = 15 + 14 + 4 + 15 + 12 - 28 - 15 - 14 - 13 = -10$$

$$q_{23} = 15 + 14 + 15 + 12 + 11 - 26 - 14 - 13 - 12 = 2$$

$$q_{32} = 14 + 4 + 5 + 3 + 4 - 30 - 14 - 13 - 12 = -39$$

$$q_{42} = 4 + 5 + 1 + 3 - 6 - 15 - 12 - 4 = -24$$

$$q_{33} = 14 + 15 + 3 + 4 + 5 - 24 - 13 - 12 - 11 = -19$$

$$q_{43} = 15 + 3 + 3 + 4 - 8 - 12 - 11 - 5 = -11$$

$$q_{24} = 14 + 13 + 12 + 11 + 12 - 24 - 13 - 14 - 12 = -11$$

$$q_{34} = 13 + 12 + 4 + 5 + 6 - 22 - 12 - 12 - 12 = -18$$

$$q_{44} = 12 + 4 + 3 + 4 + 2 - 10 - 11 - 12 - 6 = -14$$

$$q_{22} =$$

$$q_{32} = 3 \cdot 14 + 3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 3 \cdot 3 + 3 \cdot 4 - 5 \cdot 14 - 5 \cdot 13 - 5 \cdot 12 = 42 + 12 + 15 + 9 + 12 - 70 - 65 - 60 = -105$$

$$q_{42} =$$

$$q_{23} =$$

$$q_{33} =$$

$$q_{24} =$$

$$q_{34} =$$

$$q_{44} =$$

Przykład 2.

SW (Prewitt)

1	-1	-1
1	-2	-1
1	1	1

$[p(i,j)]$

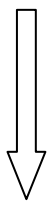
					$j$
	4	4	8	8	8
	4	4	8	8	8
	4	4	8	8	8
	4	4	4	4	4
	4	4	4	4	4
$i$					

$[q(i,j)]$

					$j$
	x	x	x	x	x
	x	-4	-12	0	x
	x	-8	-20	-12	x
	x	-4	-8	-4	x
	x	x	x	x	x
$i$					

SW(Kirsch)

3	-5	-5
3	0	-5
3	3	3



$[p(i,j)]$

					$j$
	x	x	x	x	x
	x				x
	x	-60			x
	x				x
	x	x	x	x	x
$i$					

$$q_{22} = 4 + 4 + 4 + 4 + 8 - 8 - 4 - 8 - 8 = -4$$

$$q_{32} = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 - 8 - 4 - 8 - 8 = -8$$

$$q_{42} = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 - 8 - 4 - 8 - 4 = -4$$

$$q_{23} = 4 + 4 + 4 + 8 - 8 - 16 - 8 - 8 - 8 = -12$$

$$q_{33} = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 - 16 - 8 - 8 - 8 = -20$$

$$q_{43} = 4 + 4 + 4 + 4 + 4 - 8 - 8 - 8 - 4 = -8$$

$$q_{24} = 8 + 8 + 8 + 8 + 8 - 16 - 8 - 8 - 8 = 0$$

$$q_{34} = 8 + 8 + 4 + 4 + 4 - 16 - 8 - 8 - 8 = -12$$

$$q_{44} = 8 + 4 + 4 + 4 + 4 - 8 - 8 - 8 - 4 = -4$$

$$q_{22} =$$

$$q_{32} =$$

$$q_{42} =$$

$$q_{23} =$$

$$q_{33} = 12 + 12 + 12 + 12 + 12 - 40 - 40 - 40 = 60 - 120 = -60$$

$$q_{24} =$$

$$q_{34} =$$

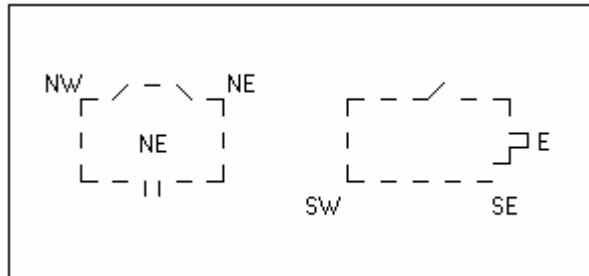
$$q_{44} =$$

**Wniosek:** Operator Kirsch'a jest bardziej czuły na zmiany wartości piksli niż operator Prewitta.



## Elementy segmentacji

Obraz z wykrytymi krawędziami:



### Detektory wzrostu (DTW)

Lokalizacja krawędzi metodami: - liczenie różnicy bezpośredniej,  
- liczenie różnicy bezwzględnej.

- Różnica bezpośrednia: 
$$r(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } f(x, t) - f(x, y + 1) \geq T \\ 0 & \text{gdy } f(x, t) - f(x, y + 1) < T \end{cases}$$

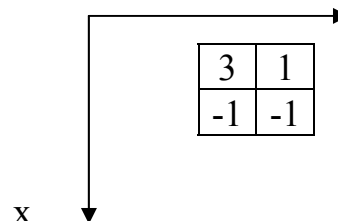
gdzie 1 - wartość konturu,  
0 - wartość tła.

- Różnica bezwzględna:

$$R(x, y) = 3f(x, y) - f(x, y + 1) - f(x + 1, y) - f(x + 1, y + 1)$$

$$r(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } R(x, y) \geq T \\ 0 & \text{gdy } R(x, y) < T \end{cases}$$

Obliczenie  $R(x, y)$ : konwolucja oraz maska:



Różne stopnie złożoności operatora wzrostu (maski).

Przykład zastosowania: detekcja krawędzi obiektu nierówno oświetlonego

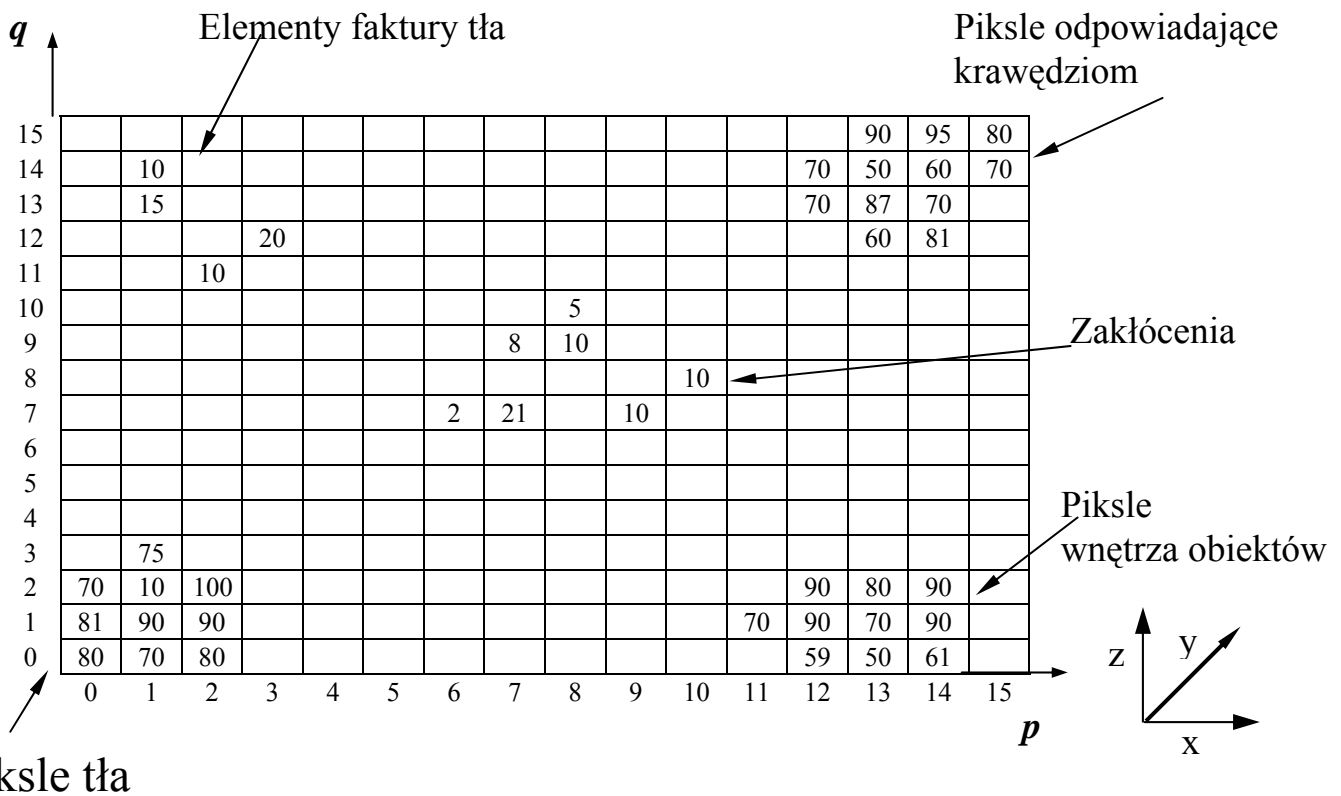
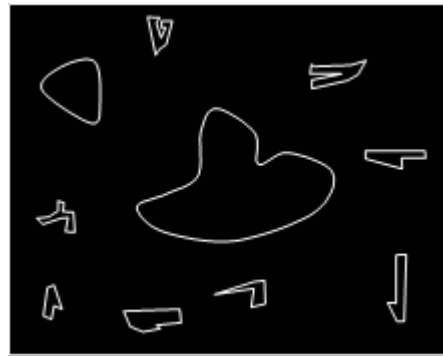
## Detekcja krawędzi na podstawie histogramów dwuwymiarowych (H2D)

Efekt: poprawa ciągłości linii brzegowej

**Piksele:** Wnętrza obiektów, Zakłócenia, Tło, Elementy faktury tła, Kontury

Obraz pierwotny  $[p(i,j)]$

Obraz wynikowy  $[q(i,j)]$   
(np. po operacji gradientu)



## **Sposób postępowania**

1. Odpowiednio przygotowany obraz źródłowy (po korekcji radiometrycznej, geometrycznej i po przetworzeniu metodami jednopunktowymi) zostaje przekształcony gradientowo lub za pomocą laplasjanu.
2. Tworzenie histogramu 2D na podstawie obrazu źródłowego i przetworzonego.
3. Wyodrębnianie na histogramie dwuwymiarowym grup skupień punktowych należących do tła, obiektu i konturu (promieniste przeszukiwanie okolic centrów poszczególnych grup z uwzględnieniem gradientu przyrostu wartości).
4. Współrzędne obszarów wyodrębnionych jako kontur tworzą dalej zbiór wartości, według którego tworzony jest końcowy, zbinaryzowany obraz zawierający poszukiwane kontury.

Metoda ułatwia selekcję punktów pośrednich i ich klasyfikację do punktów brzegowych.

## Metoda analizy otoczenia

- Technika logicznej analizy otoczenia

- stosowana do obrazów binarnych,
- wykorzystuje metodę różnicy bezwzględnej,
- działa na zasadzie sprawdzania wartości poszczególnych punktów obrazu i zaznaczania jako punktów brzegowych tych, które zawierają w swoim otoczeniu równocześnie w mniej więcej równej ilości punkty obiektu i tła.

Oznaczanie otoczenia punktu  $x_0$ :

	$x_2$	
$x_3$	$x_0$	$x_1$
	$x_4$	

Implementacja metody - formuła logiczna:

$$x'_0 = x_0 \wedge \sim (x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4); \text{ gdzie: } \sim \text{ negacja, } \wedge \text{ koniunkcja}$$

- Poprawa ciągłości linii brzegowej:

filtr pionowy:

$$x'_0 = \begin{cases} x_2 & \text{dla } x_2 = x_4 \\ x_0 & \text{dla } x_2 \neq x_4 \end{cases}$$

filtr poziomy:

$$x'_0 = \begin{cases} x_1 & \text{dla } x_1 = x_3 \\ x_0 & \text{dla } x_1 \neq x_3 \end{cases}$$

- Pocienianie (zmniejszanie szerokości linii brzegowej obiektu):

$x'_0 = x_0 \wedge x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \wedge x_4$  - z wykorzystaniem operatora koniunkcji  
Wielokrotne wykonywanie operacji zależnie od potrzebnej szerokości linii.

• Pogrubianie linii brzegowej:

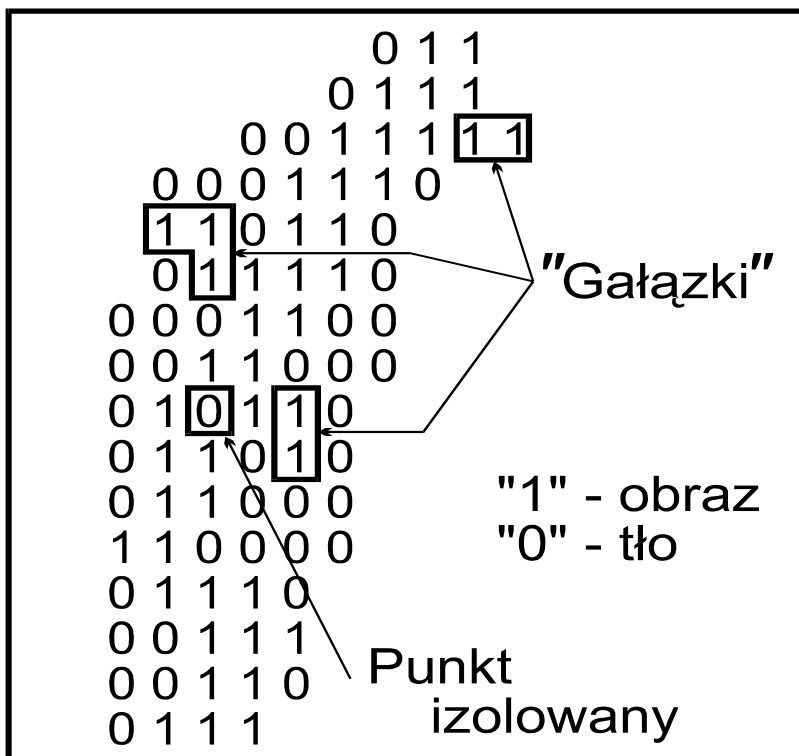
$x'_0 = x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4$  - z wykorzystaniem operatora alternatywy.

Kolejność działań:

– kilkakrotne pocienianie („erozja”); likwidacja izolowanych ciemnych punktów oraz „gałązek”.

Wielokrotne pocienianie i pogrubianie:

„1” - obraz; „0” - tło



– po kilkakrotnym pocienianiu „erozji” wykonuje się tyle samo razy operację pogrubiania „dylatacji”.

Efekt operacji:

Wzmocnienie zachowanych linii, usunięcie drobnych przerw (uciąglenie); oznacza to radykalne polepszenie jakości obrazu ( w sensie przygotowania do kolejnych etapów procesu rozpoznawania obrazu tzn. segmentacja, analiza, rozpoznanie właściwe).

**Badanie cech linii**

Zadanie: wykrywanie (detekcja) nieciągłości, zakrzywień, zamkniętości, otwartości, wklęsłości, wypukłości

### Badanie zakrzywień (krzywizny) linii

Czy zakrzywienia (jeśli istnieją) mieszczą się w **granicach tolerancji**.

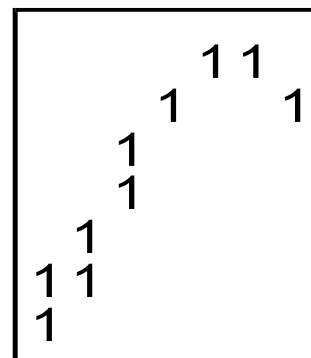
Metody:

- śledzenie linii brzegowej z jednoczesną kontrolą jej współczynników,
- zliczanie punktów w oknie przesuwanym się pionowo lub poziomo (w zależności od położenia linii) od punktu startowego linii brzegowej.
- metoda maskowa - z dowolnym przesuwem maski (okna)

- Metoda maskowa - detekcja krzywych w oknie 3x3

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$\begin{aligned}
 k(1) &= a \wedge b & k(5) &= h \wedge i \\
 k(2) &= b \wedge c & k(6) &= g \wedge h \\
 k(3) &= a \wedge d & k(7) &= f \wedge i \\
 k(4) &= c \wedge f & k(8) &= d \wedge g
 \end{aligned}$$



$$e' = \begin{cases} e & \text{jeśli } [k(1) \neq 0 \wedge k(5) \neq 0] \vee [k(2) \neq 0 \wedge k(6) \neq 0] \vee \dots \vee [k(4) \neq 0 \wedge k(8) \neq 0] \\ 0 & \text{jeśli powyższy warunek nie jest spełniony} \end{cases}$$

Zaleta: Niezależnie od kierunku przeszukiwania wykrywa krzywizny poziome i pionowe.

### Badanie ciągłości linii brzegowej

Metody: śledzenie linii brzegowej, różnicy bezwzględnej, filtru logicznego

- Metoda filtru logicznego; realizacja maszynowa przybiera postać maski.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

$$e' = \begin{cases} M & \text{dla } e \neq (b=h) \vee e=h \neq b \\ e & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases} \quad (\text{filtr pionowy})$$

$$e' = \begin{cases} M & \text{dla } e \neq (d=f) \vee e=f \neq d \\ e & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases} \quad (\text{filtr poziomy})$$

gdzie M - znacznik nieciągłości

Efekty: krawędzie skuteczniej i doskonalej wydobywane za pomocą operatorów ekstrakcji linii, pocieniania, uciągania itp. niż laplasjanem.

### **Detekcja krawędzi z wykorzystaniem Transformacji Hougha (TH)**

Proces (omówiony wcześniej) detekcji linii daje **pojedyncze elementy** (piksele) poszukiwanej krawędzi.

Kolejny etap: aproksymacja linii (prostych i krzywych) na podstawie tych wyodrębnionych (wydobytych) elementów.

Metody: grafów, projekcji, **transformacji Hougha** (największa praktyczna przydatność).

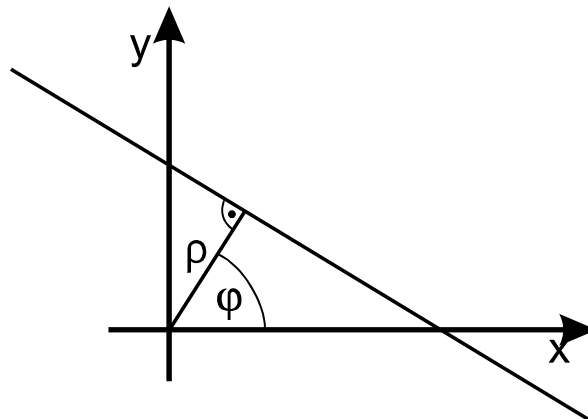
**Transformacja Hougha (TH)** - metoda detekcji krzywych (nie pikseli (!) - co jest realizowane przez detekcję krawędzi lub segmentację) oparta na *dualności* pomiędzy **punktami** na krzywej a **parametrami** tej krzywej.

Zaleta TH: działa dobrze nawet wówczas, gdy ciągłość krawędzi nie jest zachowana (np. z powodu szumów)

Krzywa analityczna o postaci  $f(x,a)=0$ , gdzie  $x$  - punkt obrazu,  $a$  - wektor parametrów.

**Przykład**: detekcja **prostych** w obrazie, stąd:  $f(x,a)$  - równanie prostej.

**Przestrzeń obrazu**: Równanie *normalne* prostej:  $x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi = \rho$



Założenie:

Piksele o niezerowej wartości są elementami krawędzi. Jeśli piksel  $(x,y)$  leży na prostej → znaleźć zbiór wartości  $(\rho, \phi)$  w przestrzeni parametrów tej prostej.

$(x,y)$  - **dane**,  $(\rho, \phi)$  - **zmienne** → równanie normalne prostej przedstawia relację pomiędzy **krzywą** w przestrzeni parametrów a **punktem** w obrazie.

Punkt  $(x,y)$  leży na prostej → krzywa w przestrzeni parametrów - **sinusoida**:

**Przestrzeń parametrów**: Równanie sinusoidy  $x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi = \rho$

**TH** - transformacja pomiędzy **punktami obrazu** a **przestrzenią parametrów** poszukiwanej krzywej.

## Operacje morfologiczne

- - unarne ( dopełnienie, odbicie zwierciadlane, translacja)
- - dyadyczne (przetworzenie dwóch obrazów w jeden np. AND, OR),
- - geometryczne transformacje obrazów (np. erozja, dylatacja)

### Erozja

Dwa rodzaje erozji: wykorzystanie sąsiedztwa 8-spójnego i 4-spójnego (**wzorce**: kwadrat i romb). Operacja ta dotyczy obrazów szaroodcieniowych. Algorytm erozji opiera się na wybraniu piksla o wartości najmniejszej i wstawieniu go w miejsce środkowego.

Przykład:

#### **Kwadrat**

wybór najmniejszej wartości z sąsiedztwa 8-spójnego  
wstawienie wybranej wartości w środek

4	5	7
3	7	9
1	14	5

4	5	7
3	1	9
1	14	5

#### **Romb**

wybór najmniejszej wartości z sąsiedztwa 4-spójnego  
wstawienie wybranej wartości w środek

	5	
3	7	9
	14	

	5	
3	3	9
	14	



## Dylatacja

Dwa rodzaje dylatacji: wykorzystanie sąsiedztwa 8-spójnego i 4-spójnego (**wzorce**: kwadrat i romb). Dotyczy obrazów szaroodcieniowych. Algorytm dylatacji opiera się na wybraniu piksla o wartości największej i wstawieniu go w miejsce środkowego.

Przykład:

### **Kwadrat**

wybór największej wartości z sąsiedztwa 8-spójnego  
wstawienie wybranej wartości w środek

4	5	7
3	7	9
1	14	5

4	5	7
3	14	9
1	14	5

### **Romb**

wybór największej wartości z sąsiedztwa 4-spójnego  
wstawienie wybranej wartości w środek

	5	
3	7	9
	14	

	5	
3	14	9
	14	

### **Otwarcie**

Operacja morfologiczna, która opiera się na dwóch innych operacjach: erozji i dylatacji. Otwarcie polega na wykonaniu na obrazie najpierw erozji (minimum), a następnie na tak przetworzonym obrazie, należy zastosować dylatację (maksimum).

### **Zamknięcie**

Operacja morfologiczna, która opiera się na dwóch innych operacjach: dylatacji i erozji. Zamknięcie polega na wykonaniu na obrazie najpierw dylatacji (maksimum), a następnie na tak przetworzonym obrazie, należy zastosować erozję (minimum).

### **Pocienianie**

Zmniejszenie obiektu o piksele będące jego krawędzią.

### **Pogrubianie**

Zwiększenie obiektu o dodatkowe piksele w miejscu krawędzi obiektu.

### **Ekstrakcja konturu**

Kolejność działań: 1) operacja erozji obrazu, 2) odjęcie obrazu podstawowego od obrazu po erozji. W wyniku otrzymujemy kontur obiektu.

### **Szkieletyzacja**

Operacja, która wykrywa szkielet obiektu. Przykładowy algorytm szkieletyzacji: 1) obliczyć, ile erozji można wykonać, aby obraz nie został sprowadzony do tła, 2) wykonać obliczoną ilość razy erozję i otwarcie. Wyniki kolejnych kroków erozji i otwarcia należy od siebie odjąć. Wyniki odejmowania z kolejnych kroków należy wstawić w obraz wynikowy.

## Pytania 4

1. Na czym polega operacja detekcji krawędzi?
2. Co to jest krawędź w obrazie, podać przykład krawędzi.
3. Jaki jest cel detekcji krawędzi.
4. Podać macierz wag, maskę FG oraz współczynnik maski dla przykładowej operacji detekcji krawędzi.
5. Podać macierz wag, maskę oraz współczynnik maski dla przykładowej operacji wyostrozania obrazu.
6. Podać macierz wag, maskę oraz współczynnik maski dla przykładowej operacji wygładzania obrazu.
7. Jakiego typu sąsiedztwo stosowane jest w maskach (specjalnego gradientu) Robertsa, Sobela i Prewitta. Podać wpływ typu tego sąsiedztwa na wybór sposobu operacji na pikslach wchodzących w skład skrajnych kolumn i wierszy tablicy reprezentującej obraz pierwotny.
8. Które piksele z sąsiedztwa piksla przetwarzanego metodą Robertsa mają wpływ na kierunek gradientu intensywności?
9. Podać kierunki krawędzi najlepiej wykrywanych przy użyciu masek uzgadniania wzorca Prewitta i Kirscha.
10. Jaka jest zasadnicza różnica w efektach użycia masek uzgadniania wzorca Prewitta i Kirscha?
11. Jakie sąsiedztwo przetwarzanego piksla jest brane pod uwagę w lokalizacji krawędzi metodą różnicy bezpośredniej, a jakie dla przypadku lokalizacji metodą różnicy bezwzględnej.
12. Czy liczba umieszczona w tablicy przedstawiającej histogram 2D może być mniejsza od  $M$  (tzn. liczby poziomów jasności obrazu)?
13. W jaki sposób można zmodyfikować histogram 2D w celu zbinaryzowania obrazu wynikowego (tzn. obrazu po detekcji krawędzi).
14. Cele stosowania technik: a) logicznej analizy otoczenia, b) poprawy ciągłości linii brzegowej, c) pocieniania (erozji) linii brzegowej, pogrubiania (dylatacji) linii brzegowej.
15. Co to jest wzorzec i jaki jest jego wpływ na operację erozji.
16. Co to jest wzorzec i jaki jest jego wpływ na operację dylatacji.
17. Czym się różni operacja otwarcia od operacji zamknięcia?
18. Na czym polega operacja ekstrakcji konturu?

## Problem 4

### Zadanie 1

Dany jest przykładowy obraz pierwotny  $f(x,y)$  (str. 2 (Wykład 4)).

Wyznaczyć obrazy wynikowe stosując odpowiednio maski (1) i (3) filtracji górnoprzepustowej (FG) detekcji krawędzi (str. 1 (folie wykładowe)).

### Zadanie 2

Wyznaczyć kierunki gradientu intensywności w metodzie Roberta dla poszczególnych pikseli o współrzędnych  $(i, j)$  zadanego obrazu o parametrach  $N=4, M=16, L_{min}=0$ .

10	9	2	1	→
10	10	2	1	$i$
5	3	9	7	
5	3	7	8	

↓  $j$

Rozwiązanie (dla 2 przykładowych pikseli):

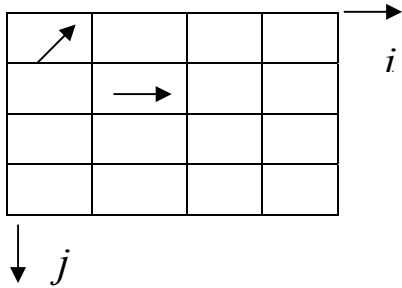
1)  $i=1, j=1$ .

$$\alpha = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{f_7 - f_5}{f_4 - f_8}\right) = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{10 - 9}{10 - 10}\right) =$$
$$= -\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{4}$$

2)  $i=2, j=2$ .

$$\alpha = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{f_7 - f_5}{f_4 - f_8}\right) = -\frac{\pi}{4} + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{3 - 2}{10 - 9}\right) = -\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} = 0$$

Oznaczenia kierunków gradientu intensywności.



Wyznaczyć kierunki dla innych piksli

### Zadanie 3

Dla każdej z par obrazów przed i po operacji detekcji krawędzi (rozdzielczość  $N=5$ ), podanych w punktach a) i b) sporządzić histogram dwuwymiarowy. Dokonać interpretacji rozkładu częstości występowania poziomów jasności odpowiednich piksli w poszczególnych obszarach tego histogramu.

a)  $L_{min}=0$ ,  $L_{max}=3$

$[p(i,j)]$

0	0	3	0	0
0	2	3	2	1
1	3	3	3	0
0	3	2	3	2
0	0	1	1	0

$[q(i,j)]$

0	0	3	0	0
0	2	0	2	1
0	3	0	3	0
0	3	2	3	0
0	0	1	1	0

b)  $M=16$

$[p(i,j)]$

0	0	14	0	0
3	14	15	15	0
0	15	14	15	0
0	15	15	14	2
3	0	15	3	3

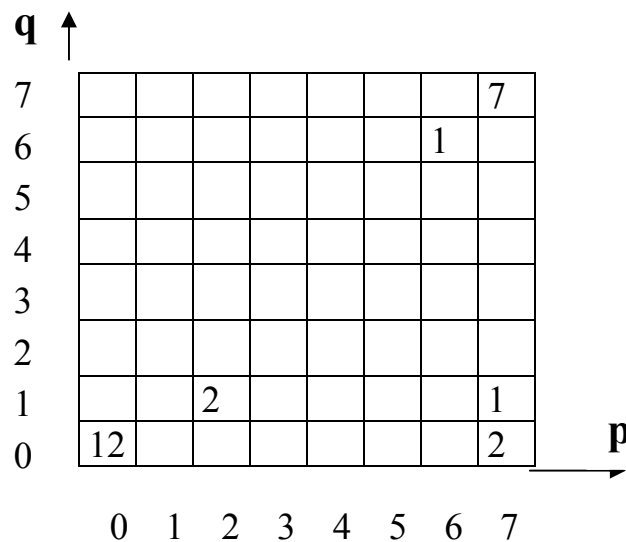
$[q(i,j)]$

0	0	15	0	0
3	15	0	15	0
0	15	0	15	3
0	15	0	15	0
3	3	15	0	3

#### Zadanie 4

Na podstawie podanego histogramu 2D utworzyć odpowiadającą mu parę obrazów (każdy o rozmiarze  $N \times N$ ): pierwotny  $[p(i,j)]$  - zawierający jasny obiekt z zakłóceniami i ciemne tło z zakłóceniami, i wynikowy (po detekcji krawędzi)  $[q(i,j)]$ , zawierający jasny kontur, ciemne wnętrze oraz ciemne tło.

- Wyznaczyć parametry  $M$ ,  $N$ ,  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  utworzonych obrazów,
- Na histogramie 2D zaznaczyć obszary odpowiadające: krawędziom obiektu, tłu, wnętrzu obiektu, zakłóceniom,
- Przeprowadzić próbę modyfikacji podanego histogramu 2D w taki sposób, aby została polepszona jakość obrazu  $[q(i,j)]$  (bez ingerencji w strukturę obrazu  $[p(i,j)]$ ). Przedstawić widok obrazu  $[q(i,j)]$  po polepszeniu jakości.



#### Materiały:

- M. Doros: **Przetwarzanie obrazów, Skrypt WSISIZ, Warszawa 2005.**
- M. Doros, A. Korzyńska, M. Przytulska, H. Goszczyńska: **Przetwarzanie Obrazów, materiały pomocnicze do ćwiczeń, Skrypt WSISIZ, Warszawa 2004.**