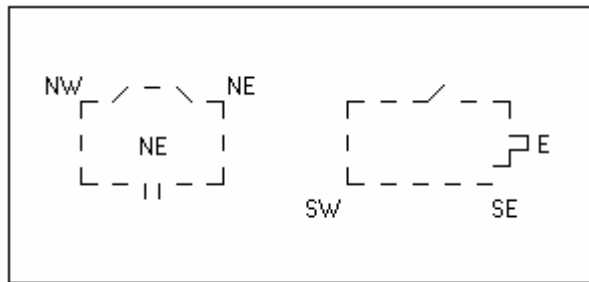


# WYKŁAD 7

## Elementy segmentacji

Obraz z wykrytymi krawędziami:



### Detektory wzrostu (DTW); badanie pewnego otoczenia piksła

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

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

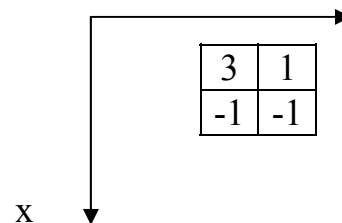
gdzie 1 - wartość konturu,  
0 - wartość tła.

- 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)

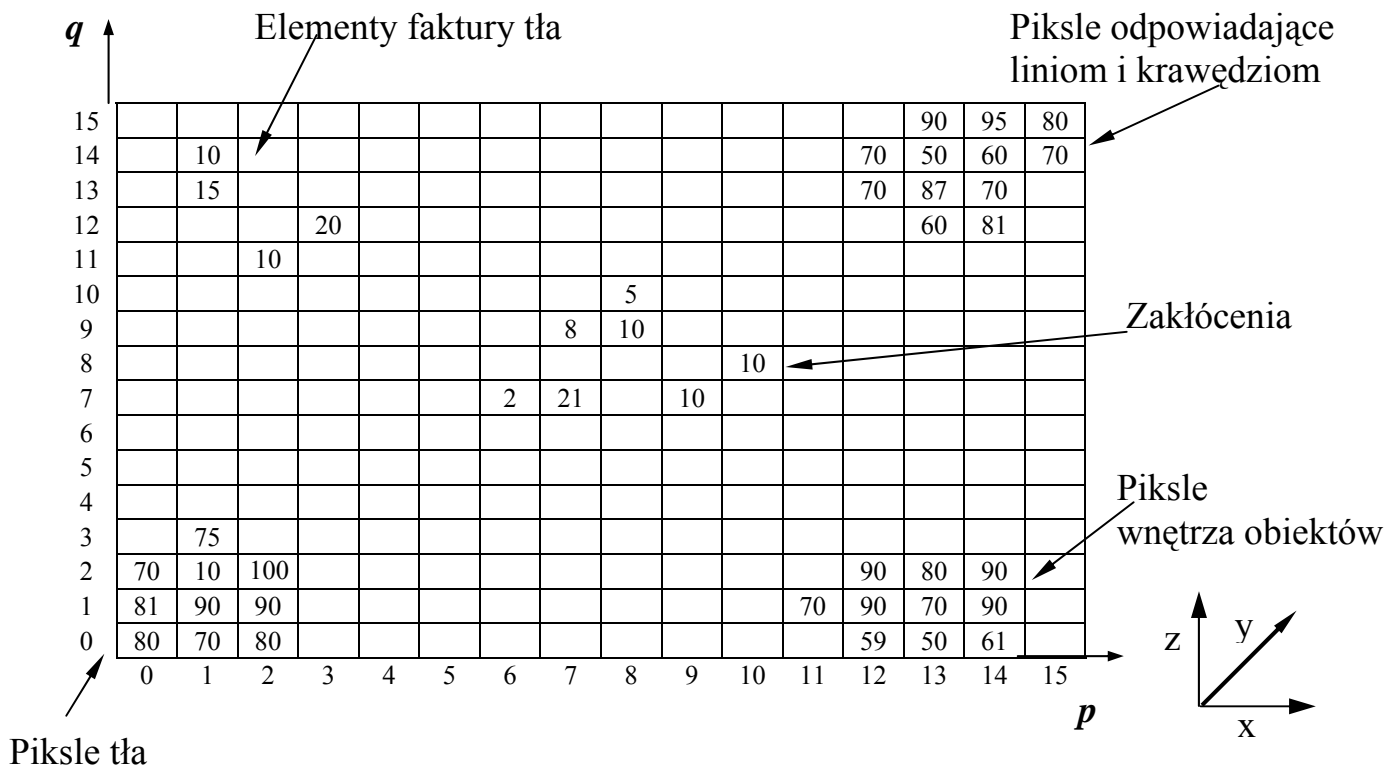
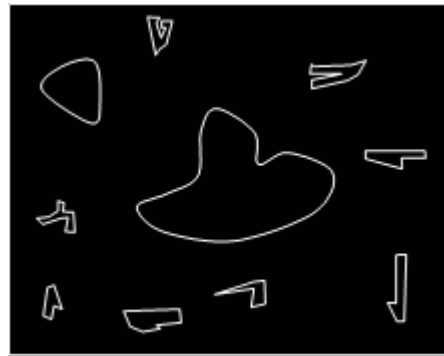
Efekt: poprawa ciągłości linii brzegowej

**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:

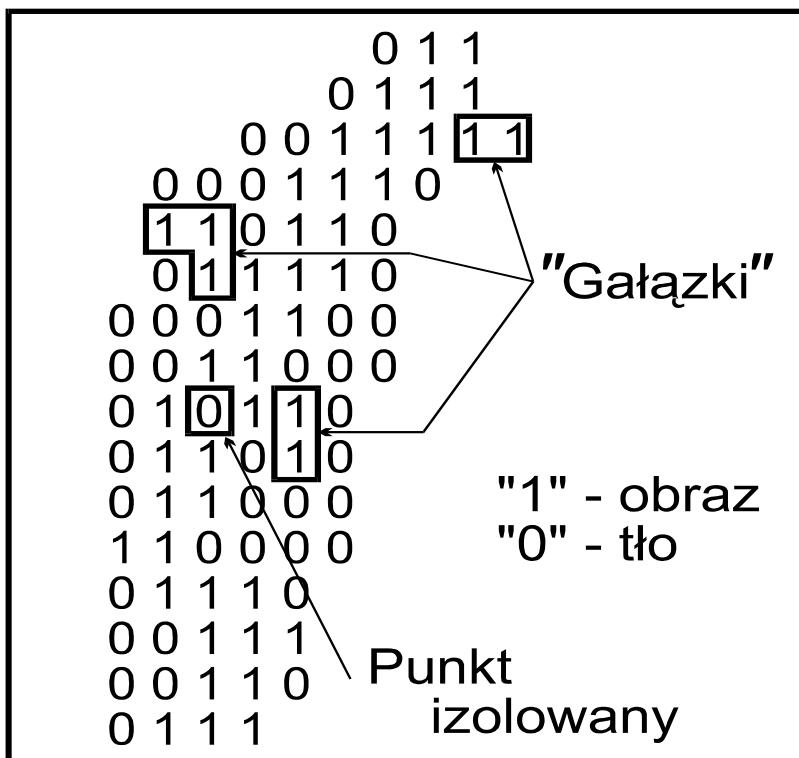
$x'_0 = x_0 \vee x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4$  - z wykorzystaniem operatora alternatywy.

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**.

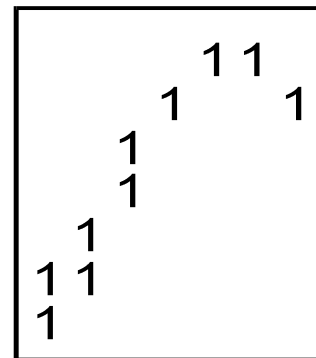
Metody:

- 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, uciągłania itp. niż laplasjanem.

# Transformacja Hougha

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).

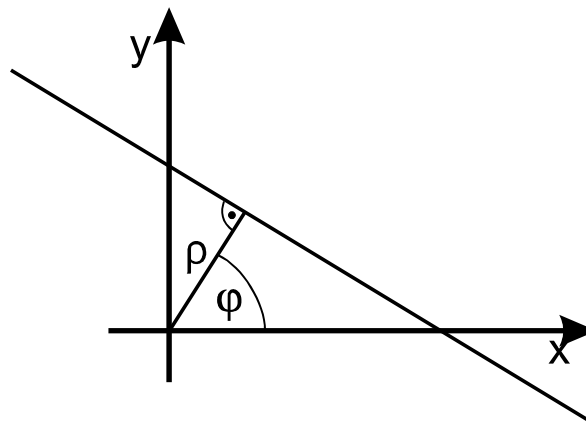
**Transformacja Hougha (TH)** - metoda detekcji krzywych (nie punktów krzywych (!) - co jest realizowane przez detekcję krawędzi lub segmentację) oparta na *dualności* pomiędzy **punktami** na krzywej a **parametrami** tej krzywej.

Krzywe: z analitycznym opisem lub bez.

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

Rozważmy: Krzywa analityczna o postaci  $f(x,a)=0$ , gdzie  $x$  jest punktem obrazu,  $a$  - wektor parametrów. Zakładamy detekcję prostych w obrazie, stąd:  $f(x,a)$  - równanie prostej.

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  $\rightarrow$  krzywa w przestrzeni parametrów - sinusoida:  
 $x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi = \rho$

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

Właściwości transformacji punkt - krzywa (TH) (przy detekcji prostej):

- punkt obrazu koresponduje z sinusoidą w przestrzeni parametrów,
- punkt w przestrzeni parametrów koresponduje z linią prostą w obrazie,
- punkty leżące na tej samej prostej w obrazie korespondują z krzywymi przechodzącymi przez wspólny punkt w przestrzeni parametrów,
- punkty leżące na tej samej krzywej w przestrzeni parametrów korespondują z liniami prostymi przechodzącymi przez ten sam punkt na obrazie.

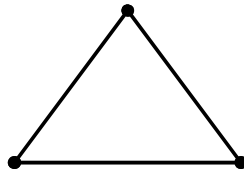
Algorytm (detekcji linii na przykładzie linii prostej) oparty na TH:

Dane:  $n$  punktów w obrazie, dla których  $f(x,y) > 0$

stąd:  $n$  krzywych w przestrzeni parametrów przecina się w  $n(n-1)/2$  punktach, które korespondują z prostymi łączącymi pary punktów na obrazie.

np:  $n=3$

$$\frac{3(3-1)}{2} = 3 \text{ (3 proste, 3 punkty niewspółliniowe)}$$



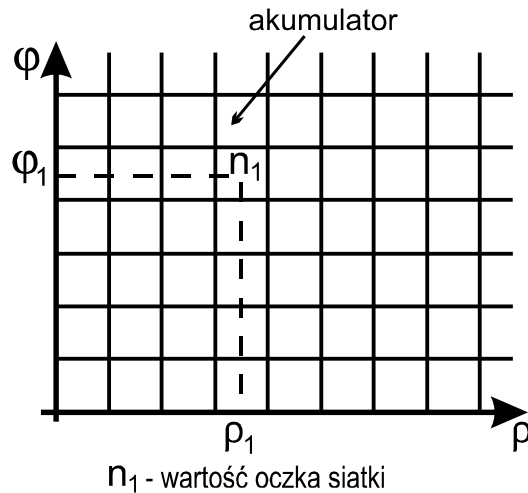
Znalezienie punktów współliniowych  $\Rightarrow$  znalezienie punktów przecięcia w przestrzeni parametrów.

Wada: duża *złożoność obliczeniowa* algorytmu:  $O(n^2)$ , gdzie  $n$  - liczba punktów niezerowych obrazu (podlegających przetestowaniu pod względem przynależności do linii).

**Redukcja** złożoności obliczeniowej  $\Rightarrow$  **dyskretyzacja** przestrzeni parametrów  $\rho, \phi$ , utworzenie regularnej siatki ich wartości



- Zdyskretyzowana przestrzeń Hougha  
dwuwymiarowa tablica *akumulatorów*:



1 krok:

Dla każdego punktu  $(x_1, y_1)$  obrazu korespondująca krzywa (dana równaniem  $x_1 \cdot \cos \varphi + y_1 \cdot \sin \varphi = \rho$ ) jest wprowadzana do tablicy poprzez powiększenie o 1 wartości oczek siatki leżących wzdłuż odpowiedniej krzywej. Każde więc oczko  $(\phi, \rho)$  tablicy **przechowuje liczbę równą liczbie krzywych przechodzących przez to oczko.**

2 krok:

Przeszukiwanie tablicy w celu znalezienia oczek o największych wartościach (miejsca przecięć największej liczby krzywych). Jeśli pewne oczko w tablicy  $(\phi, \rho)$  ma wartość  $k$ , oznacza to, że dokładnie  $k$  punktów obrazu leży wzdłuż linii, której parametrami są  $\phi_1$  i  $\rho_1$  (pomijając błąd kwantyzacji).

Dla okręgu:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = c^2 \Rightarrow \text{trójwymiarowa tablica akumulatorów.}$$

współrzędne oczek:  $(a, b, c)$

## **Literatura podstawowa:**

1. M. Doros, Przetwarzanie obrazów, Skrypt WSISIZ, Warszawa 2005.

## **Literatura uzupełniająca:**

2. C.D.Watkins at al., Nowoczesne metody przetwarzania obrazu, WNT Warszawa 1995

3. R.Tadeusiewicz, P.Korohoda, Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.  
<http://winntbg.bg.agh.edu.pl/skrypty2/0098/>

4. J.Illingworth, J.Kittler, A survey of the Hough transform, Computer Vision, graphics, and Image procesing 44, pp. 87-116 1988.

## Praca domowa

### Rozwiązać zadania ze skryptu:

M. Doros, Przetwarzanie obrazów, skrypt WSISIZ, Warszawa 2005.

Rozdz.4.3 Zadania 4,5,6

### Przykłady zadań

#### Zadanie 1

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 pikseli 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

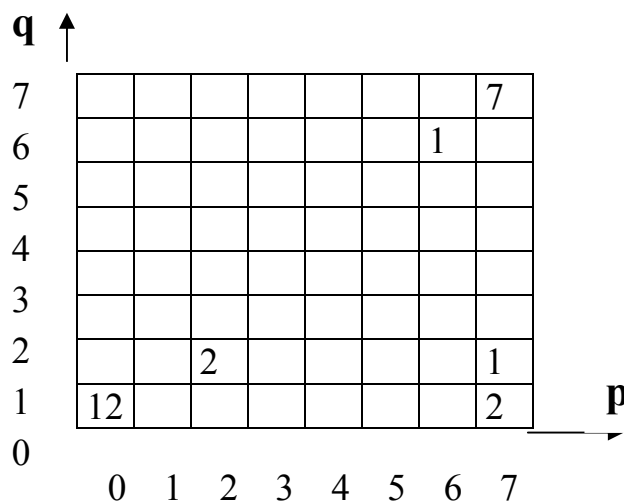
$[q(i,j)]$

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 2

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.



## Zadanie 3

Dla  $n$ -punktowego jasnego obiektu znajdującego się na podanym obrazie wyznaczyć tablicę akumulatorów i podać równanie normalne prostej, na której znajduje się najwięcej punktów badanego obiektu. Stosując kolejno wyżej wymienioną operację dla mniejszych ilości punktów wyznaczyć kontur obiektu. Przeprowadzić dobór rozmiarów tablicy akumulatorów i uzasadnić ten dobór (związek z dokładnością położenia punktu).

Przykładowy obraz:

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