

Zbigniew M. Wójcik

Przemysłowy Instytut Elektroniki

Warszawa

SEGMENTACJA OBRAZU I ROZPOZNANIE OBIEKTÓW GŁOWICY SILNIKA

Streszczenie. Praca przedstawia proces rozpoznawania obrazu składający się z następujących etapów: usuwania zakłóceń, segmentacji obrazu, wstępnej selekcji obiektów na podstawie ich parametrów globalnych, kodowania grafowego obiektu i identyfikacji.

1. Wstęp

Najważniejszym etapem procesu rozpoznawania obrazu binarnego, tj. sprwadzalnego do obrazu czarno - białego, jest prawidłowa segmentacja, w której oddzielane są od siebie poszczególne obiekty. Właściwa segmentacja pozwala na niezakłóconą analizę każdego obiektu oddzielnie, np. umożliwia poprawny, automatyczny pomiar jego parametrów globalnych typu powierzchnia i obwód oraz maksimum i minimum współrzędnych obiektu wzdłuż osi O_x i O_y , a następnie pozwala na śledzenie kształtu obiektu.

Prezentowana w pracy segmentacja obrazu polega na wydzieleniu brzegów (konturów) obiektów, śledzeniu brzegu każdego obiektu oddzielnie i na wypełnianiu wnętrza wydzielonego brzegu. W trakcie segmentacji wyznaczane są parametry globalne każdego obiektu: długość brzegu, powierzchnia i rozmiary obiektu w pionie i w poziomie. Parametry te pozwalają przeprowadzić wstępną selekcję wydzielanych obiektów przez odrzucenie obiektów zbyt dużych oraz znacznie mniejszych od obiektu poszukiwanego.

Kształt obiektu jest analizowany w końcowym etapie rozpoznawania. Operator w kształcie koła jest użyty do śledzenia i do kodowania grafowego obiektu podłużnego (typu kontur lub linii). Średnica operatora musi być większa od grubości obiektu (tj. od linii lub od konturu). Odcinek linii jest rozpoznawany w polu operatora jeśli liczba obiektów obliczona na tym polu wynosi jeden ($I_o=1$) oraz jeżeli liczba części tła w polu operatora wynosi dwa ($I_w=2$). Zakonczenie linii jest rozpoznawane w polu operatora jeśli $I_o=1$ oraz $I_w=1$. Długość odcinka linii (lub konturu) jest równa w przybliżeniu promieniowi operatora. Nachylenie odcinka M_{ni} jest obliczane na podstawie środków ciężkości X_c, Y_c sąpólnych pikseli (tj. elementarnych podobezarów obrazu) sta-

nowiących przecięcie brzegu operatora z badaną linią. Centrum operatora jest przesuwane do jednego ze środków ciężkości X_c, Y_c i wszystkie niezbędne parametry kolejnego odcinka linii są obliczane ponownie, aż liczba I_0 osiągnie wartość 0 w trakcie przesuwania operatora wzdłuż linii. Dla każdej pozycji operatora dla $I_0 > 0$ generowany jest węzeł oznaczany nazwą cechy (tj. relacji zero-argumentowej) rozpoznanej na podstawie liczb I_0 oraz I_w , np. słowami "odcinek" lub "zakończenie". Wyznaczone parametry i ich wartości (tj. relacje jedno-argumentowe) znaczą łuki przyłączone do odpowiednich węzłów. Każde dwa kolejne węzły są łączone za pomocą łuku oznaczanego nazwą relacji dwu-argumentowej i symetrycznej "sąsiaduje z". Każde dwa kolejne węzły są redukowane do pojedynczego węzła jeśli nachylenia odpowiadających im odcinków są zbliżone do siebie.

Rozpoznany obiekt (tj. przekształcony w graf) otrzymuje nazwę poszukiwanego obiektu, jeżeli graf otrzymany w wyniku rozpoznania jest identyczny jakościowo z grafem standardowym (wzorcem) poszukiwanego obiektu, tzn. jeżeli obydwa grafy posiadają taką samą kolejność nazw węzłów i łuków, i obydwa grafy posiadają podobną strukturę ilościową (np. proporcjonalność długości i nachyleń linii).

Przedstawione są komputerowe wydruki wyników rozpoznawania klucza głowicy silnika zgubionego podczas automatycznego montażu.

2. Segmentacja obrazu binarnego

TWIERDZENIE 1. Segmentacja obrazu binarnego jest przeprowadzana przez kolejne wykonanie następujących operacji:

- a) detekcji brzegów wszystkich obiektów łącznie;
- b) śledzenia brzegu każdego obiektu z osobna;
- c) wypełniania wnętrza każdego wysłedzonego brzegu z osobna.

DOWÓD. Ponieważ każda z operacji segmentacji opiera się o wynik operacji poprzedniej, przedstawione zostaną i udowodnione te trzy operacje w ich naturalnej kolejności:

ZAŁOŻENIE 1. Elementy obiektów są reprezentowane przez wartości cyfrowe 1 pikseli obrazu, a ich tło przez wartości cyfrowe 0.

ZAŁOŻENIE 2. Dowolny piksel obrazu reprezentuje brzeg obiektu, jeżeli reprezentuje on obiekt oraz jeżeli posiada on w swoim najbliższym cztero-elementowym sąsiedztwie (rys. 1.a) co najmniej jeden piksel reprezentujący tło.

DEFINICJA 1. Brzegi obiektów obrazu binarnego są wykrywane za pomocą następującego operatora $e(X, Y)$:

$$e(X, Y) = (X, Y) \wedge \sim [(X+1, Y) \wedge (X-1, Y) \wedge (X, Y+1) \wedge (X, Y-1)] \quad /1/$$

i tworzą następujący podzbiór C obrazu binarnego B:

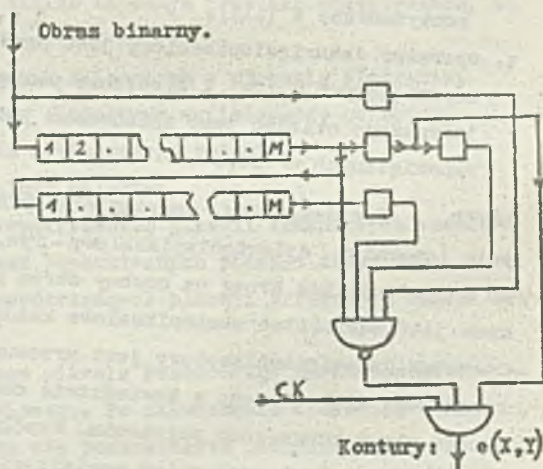
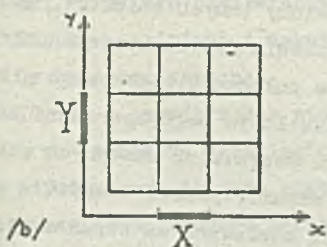
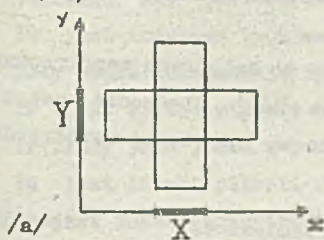
$$C = \{p(X, Y) \in B: e(X, Y) = 1\} \quad /2/$$

gdzie B jest tzw. czynnym obszarem całego badanego obrazu graficznego:

$$B = \{p(X, Y): 1 < X < M, 1 < Y < N\} \quad /3/$$

gdzie M, N są wymiarami obrazu (w pikselach) wzdłuż osi O_x i O_y układu odniesienia obrazu; (X, Y) jest wartością cyfrową piksela $p(X, Y)$.

DOWÓD. Obraz binarny składa się z obiektów i z ich tła, a wnętrza i brzegi obiektów tworzą obiekty. Jeżeli $p(X, Y)$ reprezentuje tło, wtedy $(X, Y) = 0$ i dlatego $e(X, Y) = 0$. Pیکsel $p(X, Y)$ nie jest wtedy podzbiorem brzegów (krawędzi) C. Jeżeli $p(X, Y)$ reprezentuje wnętrze obiektu, wtedy $(X, Y) = 1$ oraz wszystkie cztery piksele najbliższego sąsiedztwa posiadają wartości cyfrowe 1 i dlatego $e(X, Y) = 0$. Dlatego $p(X, Y) \notin C$. Natomiast jeśli co najmniej jeden z elementów najbliższego sąsiedztwa reprezentuje tło, wyrażenie w nawiasie kwadratowym wzoru /1/ otrzymuje wartość 0 i dlatego $e(X, Y) = 1$, co oznacza że $e(X, Y) \in C$, c.d.u.d.



Rys.1. Najbliższe, czteropikselowe sąsiedztwo /a/ i ośmio-pikselowe sąsiedztwo /b/ elementu o współrzędnych X, Y

Rys.2. Układ wydzielenia brzegów obiektów, w którym użyto dwa rejstry przesuwające M-bitowe oraz cztery rejstry przesuwające 1-bitowe

Przedstawiony operator $e(X, Y)$ jest wygodny w użyciu w przypadku detekcji krawędzi w wyspecjalizowanym układzie cyfrowym (rys.2). Krawędzie wydzielone tym operatorem posiadają jednolitą grubość i są pozbawione przerw (rys.3). Natomiast krawędzie wydzielane metodami gradientowymi [1, 2] posiadają różną grubość i są często przerywane, co utrudnia ich analizę w następnych etapach przetwarzania.

ALGORYTM 2. Brzeg pojedynczego obiektu jest śledzony w następujący sposób:

- i. Śledzenie brzegu pojedynczego obiektu rozpoczyna się w momencie natrafienia przez centrum operatora dziewięciopikselowego (rys.1.b) na piksel konturowy;
- ii. piksel centralny reprezentujący brzeg jest kopiowany na obraz z wydzieloną krawędzią i jest usuwany z obrazu analizowanego;
- iii. badane jest istnienie pikseli konturowych w sąsiedztwie ośmiopikselowym centrum operatora. Jeżeli nie ma pikseli brzegowych w sąsiedztwie ośmiopikselowym, śledzenie postępuje z (v);
- iv. operator dziewięciopikselowy jest przemieszczany do położenia pierwszego piksela brzegowego znalezione w sąsiedztwie ośmiopikselowym. Współrzędne wszystkich pozostałych pikseli brzegowych tego sąsiedztwa są zapamiętywane. Wszystkie piksele konturowe tego sąsiedztwa są kopiowane na obraz z wydzieloną krawędzią i są usuwane z obrazu badanego. Śledzenie jest kontynuowane z (iii);
- v. operator dziewięciopikselowy jest przesuwany do kolejnych współrzędnych zapamiętanych w (iv) i śledzenie postępuje z (iii). Śledzenie brzegu pojedynczego obiektu jest zakończone jeśli nie ma już więcej współrzędnych zapamiętanych w (iv).

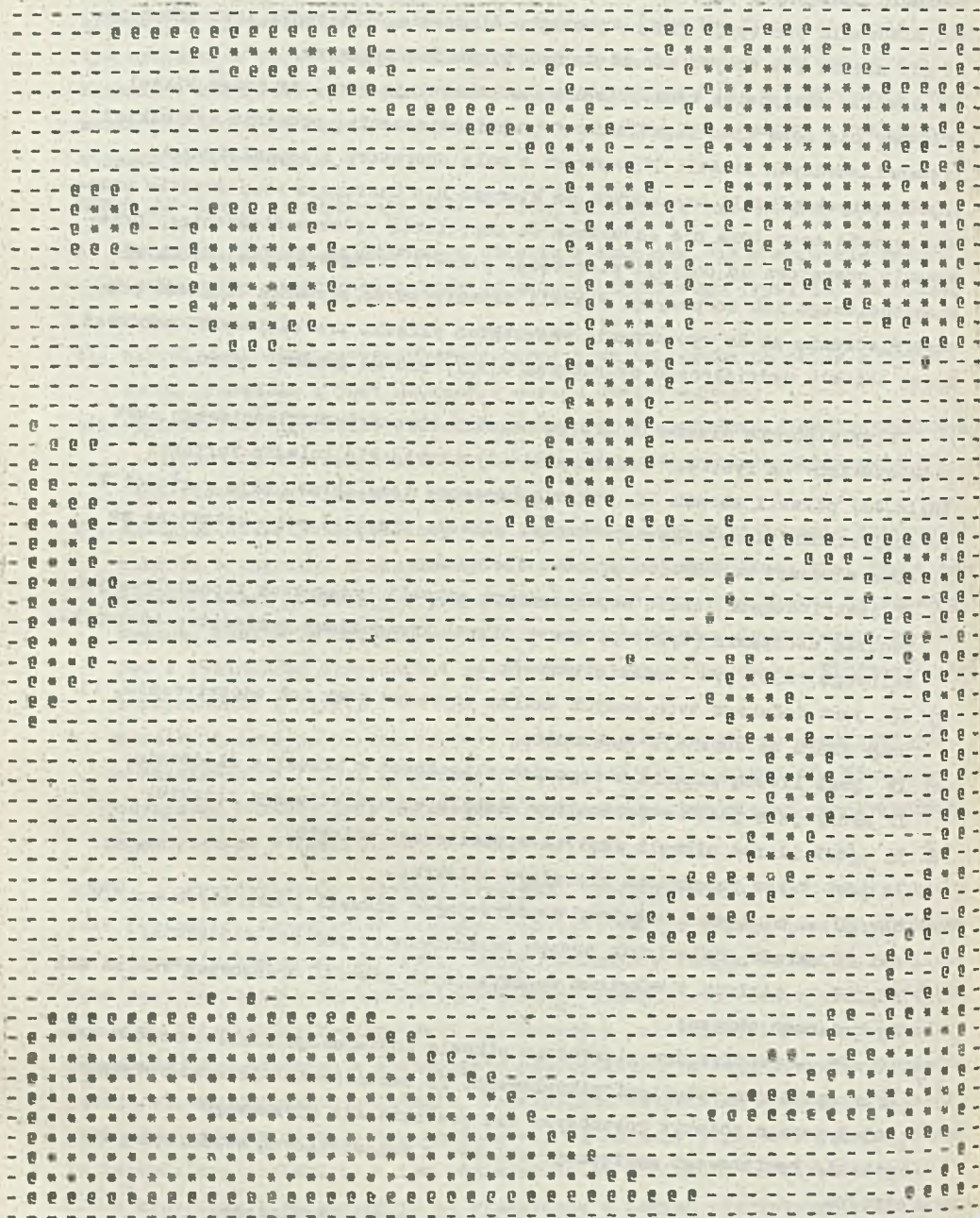
DOWÓD. Przedstawiony powyżej algorytm przemieszcza niewielkie pole (operator dziewięciopikselowy - rys.1.b) wzdłuż brzegu dowolnego obiektu i zapisuje ten brzeg na osobny obraz pozbawiony innych obiektów. Analizowane jest sąsiedztwo ośmiopikselowe każdego piksela reprezentującego krawędź. Operator dziewięciopikselowy jest przesuwany w położenie pierwszego piksela brzegowego znalezione w sąsiedztwie ośmiopikselowym tego operatora znajdującego się w poprzednim położeniu. Współrzędne wszystkich następnych pikseli brzegowych znalezionych w tym sąsiedztwie są zapamiętywane. Wszystkie piksele krawędziowe znalezione w tym sąsiedztwie są kopiowane na obraz z wydzieloną krawędzią i jednocześnie są wymazywane z obrazu pierwotnego. W przypadku, gdy w obszarze sąsiedztwa ośmiopikselowego nie ma żadnych pikseli brzegowych, operator jest przesuwany do kolejnych współrzędnych zapamiętanych przy

szukaniu następnych pikseli konturowych sąsiedztwa ośmiopikselowego i proces śledzenia postępuje jak na początku śledzenia. Śledzenie jest zakończone, gdy nie ma już nowych zapamiętanych pikseli brzegowych.

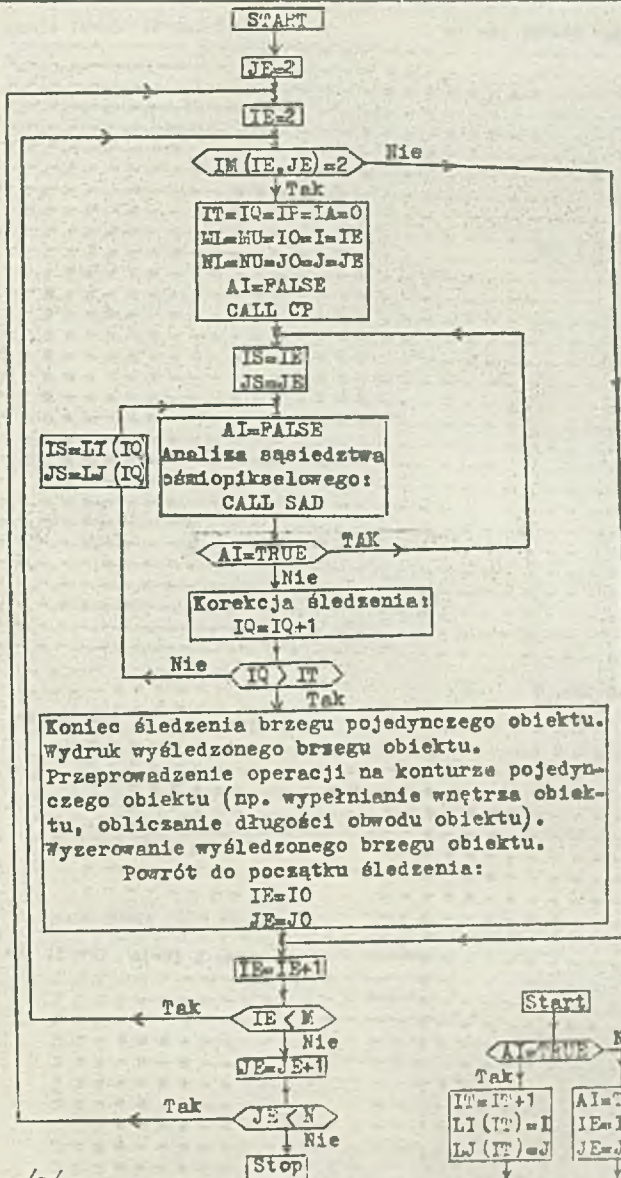
Analiza sąsiedztwa ośmiopikselowego gwarantuje więc, że żaden piksel brzegowy nie może ulec zagubieniu w trakcie śledzenia; usuwanie wszystkich przeanalizowanych pikseli brzegowych z pola operatora i zapamiętywanie współrzędnych pikseli brzegowych, do których nie następuje bezpośrednie przesłanie operatora, nie dopuszcza do zapętlenia procesu śledzenia; przesuwanie operatora do pozycji pierwszego piksela brzegowego sąsiedztwa ośmiopikselowego lub do pozycji pikseli zapamiętanych zapewnia ciągłość procesu śledzenia aż do wyczerpania wszystkich pikseli krawędziowych, ponieważ brzeg obiektu wydzielonego operatorem $e(X,Y)$ nie ma przerw, obdu.

Pełny algorytm śledzenia brzegu obiektu obrazu dwuwartościowego jest przedstawiony na rys. 4. W algorytmie tym czyta się kolejne wartości $IM(IE,JE)$ pikseli obrazu IM . Piksele brzegowe tego obrazu mają wartości 2. Po znalezieniu pierwszego napotkanego piksela krawędziowego ustawiane są wstępne wartości parametrów procesu śledzenia:

- a) IT jest indeksem tablic współrzędnych pikseli brzegowych zapamiętywanych podczas śledzenia (tylko pierwszy piksel krawędziowy sąsiedztwa ośmiopikselowego nie jest zapamiętywany);
- b) IQ jest indeksem tych samych tablic używanym przy ich odczytywaniu, tj. przy skoku do korekcji śledzenia;
- c) IP jest liczbą pikseli brzegowych zliczanych w procesie śledzenia; IP służy jako jeden z parametrów globalnych wyśledzonego obiektu;
- d) IA jest liczbą pikseli wnętrza wyśledzonego obiektu, IA jest także parametrem globalnym obiektu;
- e) ML, MU - minimum i maksimum współrzędnych pikseli konturowych wzdłuż osi Ox układu odniesienia obrazu, poszukiwanych podczas śledzenia;
- f) NL, NU - minimum i maksimum współrzędnych pikseli brzegowych wzdłuż osi Oy badanego obrazu;
- g) IO, JO - współrzędne pierwszego piksela konturowego znalezionego w centrum operatora dziewięciopikselowego. Po zakończeniu śledzenia brzegu pojedynczego obiektu rozpoczyna się poszukiwanie pierwszego piksela konturowego następnego obiektu z zapamiętanych współrzędnych IO, JO ;
- h) I, J są współrzędnymi pikseli sąsiedztwa ośmiopikselowego;
- i) IS, JS są współrzędnymi centrum operatora dziewięciopikselowego.

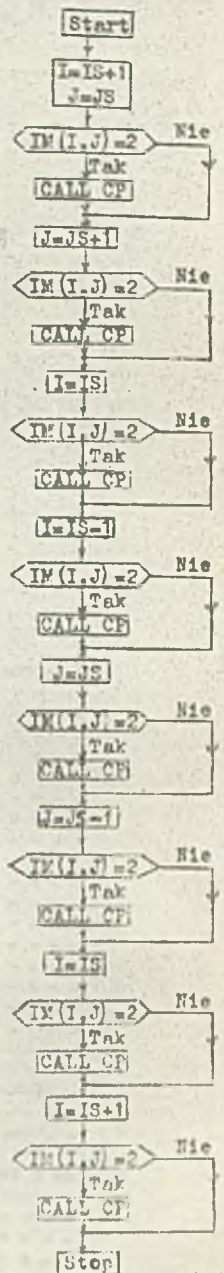


Rys.3. Binarny obraz głowicy silnika z brzegami obiektów wydzielonymi za pomocą operatora $\epsilon(I, I)$

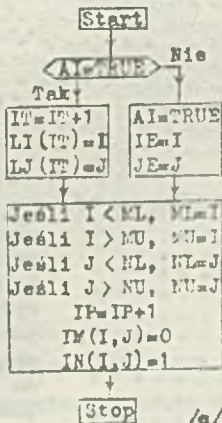


/a/

Rys.4. Algorytm segmentacji obrazu binarnego: a) algorytm organizujący śledzenie brzegów; b) procedura SAD analizy sąsiedztwa ósmiopikselowego; c) procedura CP analizy każdego piksela tego sąsiedztwa

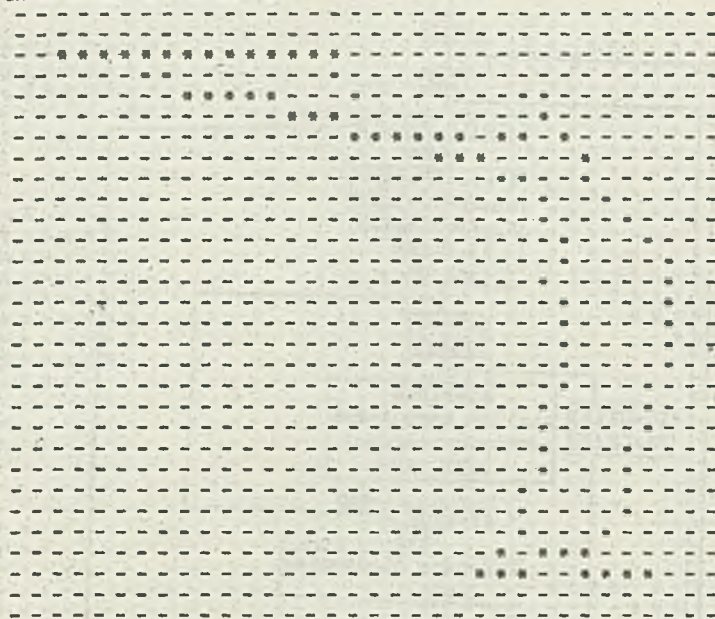


/b/

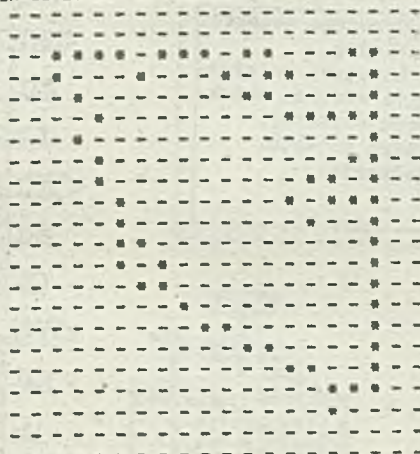


/c/

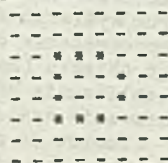
IH=30 IV=26 IP= 90 IA= 0



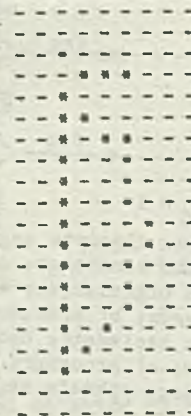
IH=16 IV=18 IP= 68 IA= 0



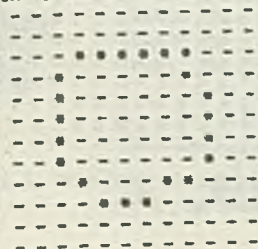
IH= 4 IV= 4 IP= 10 IA= 0



IH= 5 IV=16 IP= 31 IA= 0

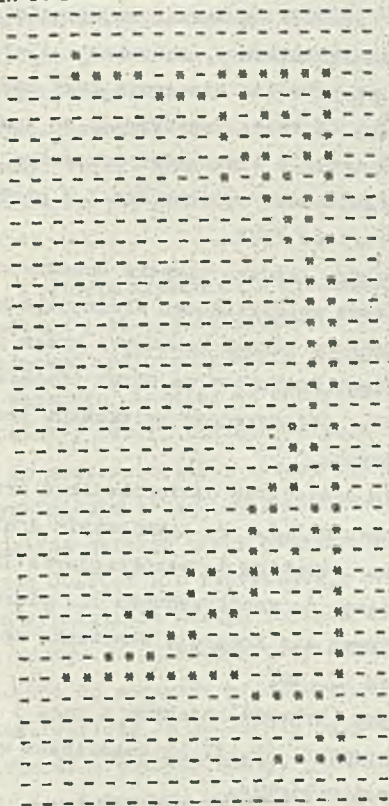


IH= 8 IV= 8 IP= 22 IA= 0



Rys.5. Pięć pierwszych brzegów obiektów obrazu binarnego z rys.3 wyłędzonych za pomocą algorytmu przedstawionego na rys. 4 (patrz LEMAT 2)

IH=14 IV=35 IP=113 IA= 0



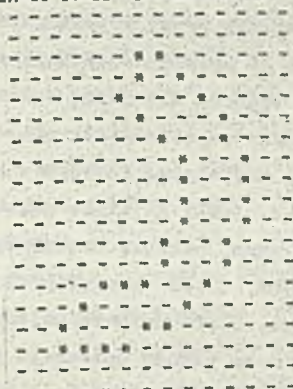
IH= 2 IV= 3 IP= 3 IA= 0



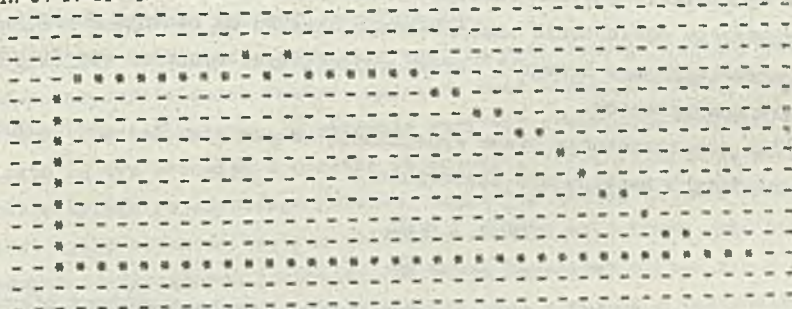
IH= 1 IV= 1 IP= 1 IA= 0



IH=10 IV=15 IP= 35 IA= 0



IH=34 IV=11 IP= 72 IA= 0



Rys. 5 - cd

Każdy piksel sąsiedztwa ośmiopikselowego (rys.1.b) jest analizowany przez procedurę CP (rys.4.c). Analiza ta przebiega jedną z dwóch dróg, w zależ-

ności od wartości wskaźnika AI. Wartość AI=TRUE oznacza, że w sąsiedztwie ośmiopikselowym znaleziony już został piksel konturowy, natomiast AI=FALSE oznacza, że bieżący piksel jest pierwszym pikselem brzegowym tego sąsiedztwa. Jeżeli AI=TRUE, współrzędne bieżącego piksela konturowego są zapamiętywane w tablicach LI oraz LJ przy zwiększonej o 1 wartości wskaźnika IT. Jeżeli AI=FALSE, centrum operatora otrzymuje nowe współrzędne I,J pierwszego piksela konturowego, a AI otrzymuje wartość TRUE.

Procedura CP analizuje także współrzędne każdego piksela brzegowego w celu wyznaczenia minimalnych i maksymalnych współrzędnych śledzonego konturu. Procedura ta usuwa także każdy wysledzony piksel konturowy przez przypisanie $IN(I,J)=0$ oraz kopiuje każdy piksel konturowy na obraz prześledzonego brzegu przez przypisanie $IN(I,J)=1$. Jednocześnie zwiększana jest liczba IP prześledzonych pikseli brzegowych.

W trakcie śledzenia badane jest całe sąsiedztwo ośmiopikselowe przez nadawanie odpowiednich wartości współrzędnym I,J. Po zakończeniu analizy całego sąsiedztwa następuje przesunięcie operatora do współrzędnych $IS=IE=I$, $JS=JE=J$, jeśli AI miało wartość FALSE (tzn. do współrzędnych I,J pierwszego napotkanego piksela brzegowego) albo odbywa się korekcja śledzenia ze współrzędnych IS,JS pamiętanych w tablicach LI, LJ.

Rys. 5 przedstawia pojedyncze kontury (brzegi) obiektów z rys. 3 prześledzone za pomocą opisanego powyżej algorytmu. IH, IV są rozmiarami wysledzonych obiektów odpowiednio w poziomie i w pionie.

Trzecim i ostatnim etapem automatycznej segmentacji obrazu binarnego jest wypełnianie wnętrza każdego wydzielonego brzegu. Wypełnianie ma na celu całkowite odtworzenie analizowanego obiektu na osobnym obrazie na podstawie prześledzonego brzegu i obrazu wejściowego. Wynikiem wypełniania jest obiekt odseparowany.

Dla zaoszczędzenia czasu wypełnianie odbywa się dla współrzędnych I,J spełniających następujące nierówności:

$$\begin{array}{ll} MU \gg I \gg ML & /4.a/ \\ KU \gg J \gg KL & /4.b/ \end{array}$$

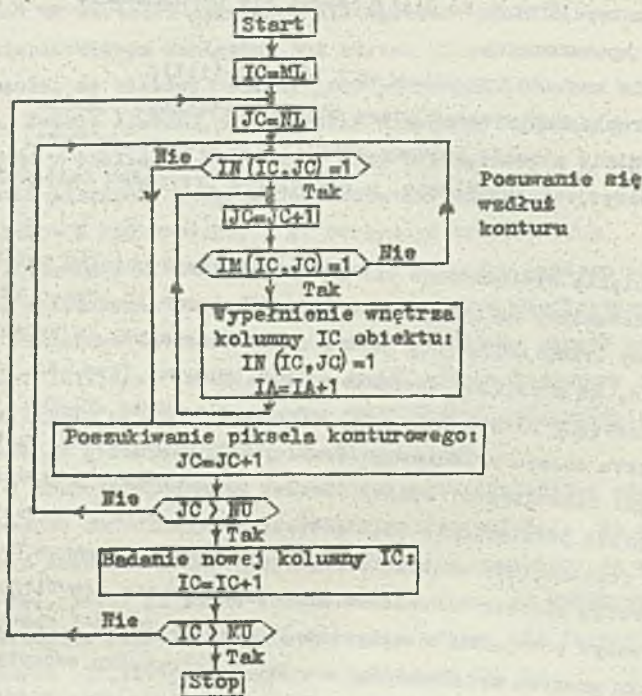
LEKAT 3. Wypełnianie wnętrza obiektu wzdłuż dowolnej kolumny pikseli obrazu jest następujące:

- i. odczytywany jest pierwszy piksel kolumny obrazu zawierającego wysledzony brzeg;
- ii. jeżeli piksel ten nie reprezentuje konturu, następuje skok do (v);

- iii. odczytywany jest następny piksel tej kolumny. Jeżeli nie reprezentuje wnętrza obiektu, następuje skok do (ii): odbywa się poszukiwanie następnego piksela konturowego;
- iv. następuje wypełnienie konturu tym pikselem i skok do (iii);
- v. trwa poszukiwanie piksela konturowego przez odczyt następnego piksela kolumny. Jeżeli wszystkie piksele kolumny zostały już przeanalizowane, wypełnianie tej kolumny jest zakończone, w przeciwnym przypadku następuje skok do (ii).

DOŚWOD. Algorytm wypełniania wysłedzonego brzegu pojedynczego obiektu obrazu binarnego jest przedstawiony na rys. 6. Dla każdej kolumny IC obrazu IN zawierającego wysłedzony brzeg zwiększany jest o jedność wskaźnik JC będący rzędną badanego piksela, aż odczytany zostanie piksel brzegowy (tzn. aż $IN(IC,JC)=1$). Jeżeli następny piksel tej samej kolumny o rzędnej $JC=JC+1$ należy do wnętrza obiektu obrazu wejściowego (tzn. jeśli $IN(IC,JC)=1$), następuje wypełnienie brzegu: pikselowi o rzędnej $JC=JC+1$ przypisywana jest własność wnętrza obiektu przez podstawienie $IN(IC,JC)=1$. Jeżeli kolejny piksel o rzędnej $JC=JC+1$ nie reprezentuje wnętrza obrazu wejściowego, oznacza to, że albo wypełnianie brzegu zostało zakończone albo poszukiwanie przebiega wzdłuż brzegu. W pierwszym przypadku odczytywane jest $IN(IC,JC)=0$ i następuje powrót do początku procesu wypełniania, a w drugim przypadku odczytywana jest wartość $IN(IC,JC)=1$: odbywa się wtedy ponowne zwiększenie rzędnej JC o jedność i ponowny odczyt piksela o rzędnej $JC=JC+1$. Zwiększanie rzędnej JC i wypełnianie kolumny IC obrazu z konturem ustaje, gdy JC przekroczy maksymalny wymiar NU wysłedzonego brzegu w kierunku osi rzędnych. Następuje wtedy wypełnianie następnej kolumny obrazu przez zwiększenie indeksu IC o jedność i powrót do początku wypełniania.

Tak więc, aby nastąpiło wypełnienie wnętrza wysłedzonego brzegu, musi zaistnieć koincydencja dwóch faktów: najpierw musi nastąpić przecięcie tego brzegu wzdłuż badanej kolumny, a następnie musi być stwierdzona obecność wnętrza obiektu za tym brzegiem w obrazie wejściowym, czyli wejście do środka wysłedzonego brzegu pojedynczego obiektu. Znajdując się we wnętrzu brzegu, badana jest tylko obecność wnętrza obiektu w obrazie wejściowym dla pikseli o tych samych współrzędnych (zauważmy, że obraz wejściowy składa się z brzegów reprezentowanych przez wartości 2 pikseli oraz z wnętrza o wartościach 1 pikseli - por. rys.3), aż wnętrze przestanie być odczytywane. Czynność ta powtarza się aż do zakończenia analizy dowolnej kolumny pikseli obrazu, obdu.



Rys.6. Algorytm wypełniania wyśledzonego brzegu pojedynczego obiektu obrazu binarnego

Na rys. 7 są przedstawione brzegi obiektów z rys. 5 z zastosowaniem opisanego powyżej algorytmu.

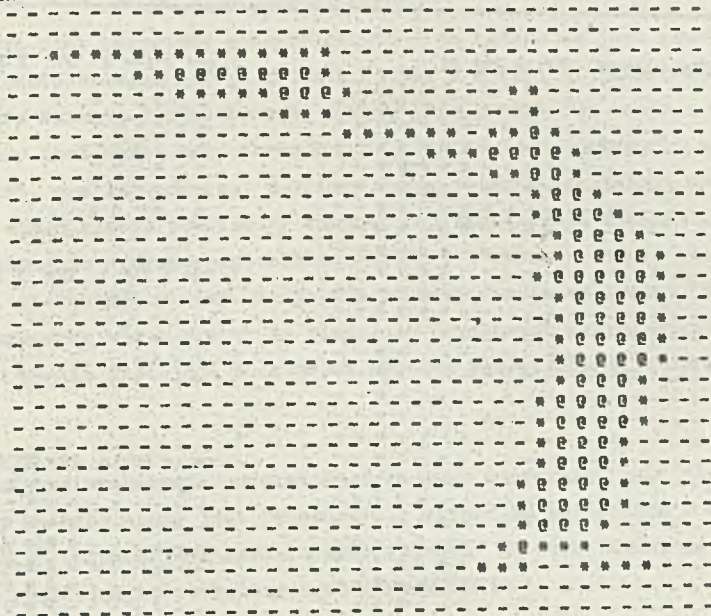
LEMAT 4. Wyniki wszystkich trzech kolejnych etapów segmentacji obrazu binarnego: detekcji brzegów wszystkich obiektów, śledzenia brzegu każdego obiektu z osobna i wypełniania wnętrza każdego wyśledzonego brzegu spełniają podstawowy warunek reprezentowania zdarzeń lub obrazów $[A, \bar{A}]$.

DOWÓD. Wyniki te są zgodne z podstawowym warunkim reprezentowania zdarzeń, ponieważ:

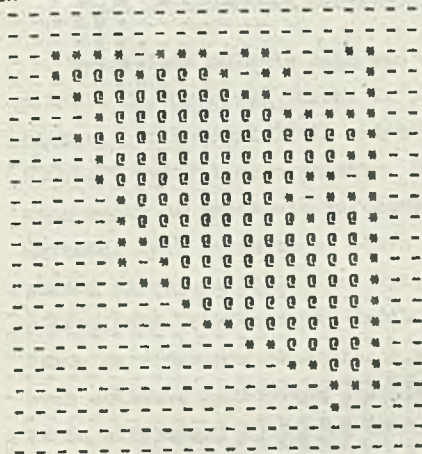
1. Każdy z tych wyników reprezentuje badaną cechę lub obiekt: wyniki działania operatora $e(X, Y)$ (wzory /1/ i /2/) reprezentują brzegi obiektów (por. rys. 3); wyniki działania algorytmu śledzenia (LEMAT 2 i rys.4) są brzegami pojedynczych obiektów (por. rys.5) a wyniki algorytmu wypełniania wyśledzonych brzegów (LEMAT 3 i rys.6) są pojedynczymi, wypełnionymi obiektami (por. rys.7). Zgodność nazw, reprezentujących wyniki rozpoznawania, z tymi wynikami rozpoznawania, jest przedmiotem LEMATÓW 1, 2 i 3;

2. Każdy z tych wyników jest niezmienny względem grupy możliwych przemieszczeń i obrotów analizowanego obrazu w polu obserwacji systemu rozpoznające-

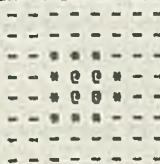
IH=30 IV=26 IP= 90 IA= 79



IH=16 IV=18 IP= 68 IA=119



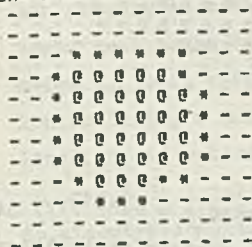
IH= 4 IV= 4 IP= 10 IA= 4



IH= 5 IV=16 IP= 31 IA= 20

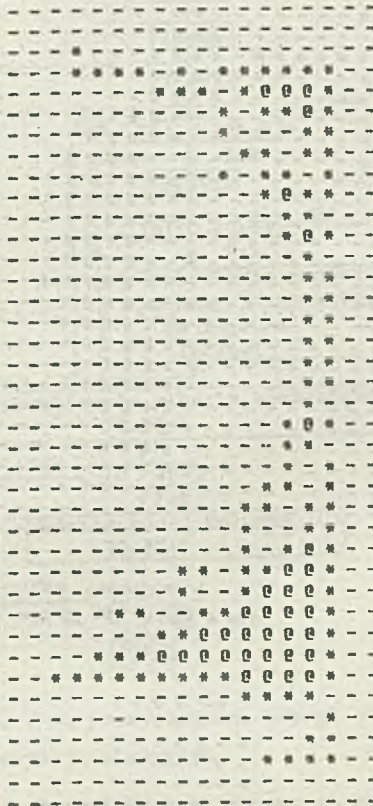


IH= 8 IV= 8 IP= 22 IA= 32

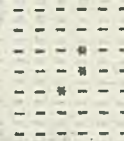


Rys. 7. Wypełn-
nione brzegi
z rys. 5

IH=14 IV=35 IP=113 IA= 35



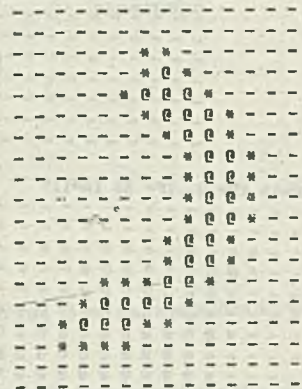
IH= 2 IV= 3 IP= 3 IA= 0



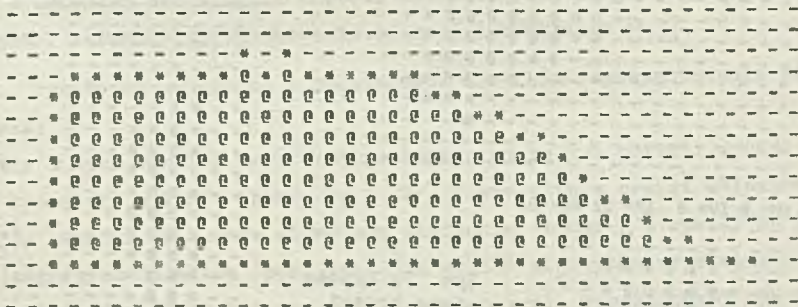
IH= 1 IV= 1 IP= 1 IA= 0



IH=10 IV=15 IP= 35 IA= 30



IH=34 IV=11 IP= 72 IA=186



Rys. 7 - cd

go, ponieważ:

- a) wartość operatora $e(X,Y)$ (tzn. wynik jego działania - wzór /1/) jest niezmienna względem obrotów badanego obrazu wokół piksela centralnego tego

operatora oraz wszystkie piksele obrazu B są badane za jego pomocą;

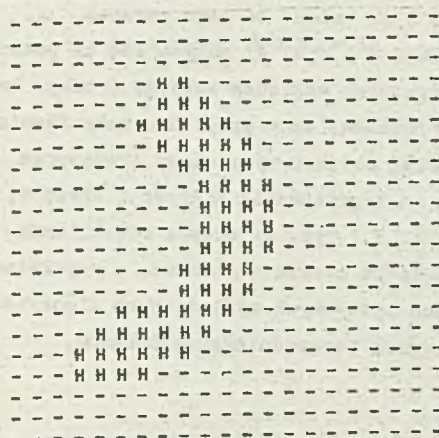
b) śledzenie brzegu każdego obiektu (LEMAT 2 i rys. 4) odbywa się za pomocą operatora dziewięciopikselowego, symetrycznego względem swojego środka. Przeszukiwany jest także cały obraz B z tą różnicą, że w przypadku natrafienia na obiekt, analizowany jest najpierw brzeg obiektu wydzielony operatorem $e(X, Y)$ spełniającym podstawowy warunek reprezentowania zdarzeń i obrazów;

c) wypełnianie wyśledzonego brzegu (LEMAT 3 i rys. 6) odbywa się kolumnami (ew. wierszami) obrazu. Wszystkie piksele obrazu są badane, a wypełnianie rozpoczyna się i kończy na pikselach brzegowych wyśledzonych algorytmem, którego wyniki spełniają podstawowy warunek reprezentowania obrazów, obdu.

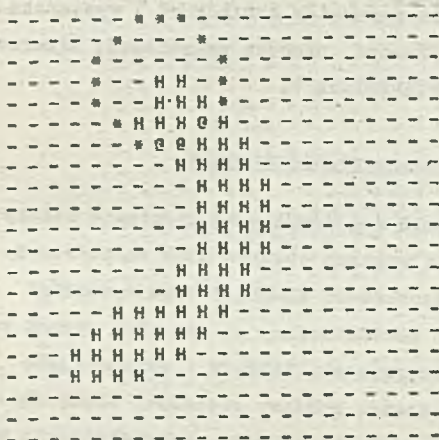
Ponieważ spełnienie podstawowego warunku reprezentowania zdarzeń przez te trzy kolejne etapy jest jednocześnie warunkiem koniecznym i wystarczającym $[3, 7]$, udowodniona została prawidłowość procesu segmentacji binarnego obrazu graficznego, co kończy dowód TWIERDZENIA 1.

3. Rozpoznanie obiektu w kształcie półpłaszczyzny

Wydzielone obiekty mogą być wstępnie segregowane na podstawie liczby IP pikseli konturowych, liczby IA pikseli wnętrza obiektu (lub na podstawie łącznej powierzchni IA+IP obiektu), szerokości $MU-MI=IH$ oraz wysokości $HU-NI=IV$ wydzielonego obiektu. Obiekt przedstawiony na rys. 8.a został odseparowany na podstawie założonych wstępnie minimalnych i maksymalnych wartości tych parametrów. Obiekt ten został poddany procesowi śledzenia za pomocą operatora kolistego. Rys. 8 przedstawia kolejne etapy śledzenia półpłaszczyzny. W pierwszych dwóch krokach (rys. 8.b,c) operator jest umieszczony na śledzonym obiekcie. W następnych krokach robione są wydruki białych obliczeń parametrów przecięcia brzegu operatora z obiektem. Parametry te są atrybutami kolejnych węzłów grafu reprezentującego ten obiekt. Kolejno drukowane są: liczby spójnych pikseli brzegu operatora, otrzymanych jako wynik przecięcia z obiektem; pozycje tych spójnych grup pikseli brzegu operatora; nachylenia wykrytych odcinków linii; w kolejnym wierszu drukowana jest cyfra 1, jeśli wykryty jest odcinek linii oraz cyfra 2, jeśli wykryty jest koniec linii; w ostatnim wierszu drukowane są długości wykrytych segmentów linii. Stała zmiana nachylenia w jednym tylko kierunku (zobacz ostatni wiersz rys.8.j) i całkowita zmiana nachylenia (równa 2,11rd) stanowią podstawę do zidentyfikowania półpłaszczyzny. Zmiany nachylenia są obliczane na podstawie wygładzonych nachyleń (pierwszy wiersz pod obraskiem z rys.8.j).

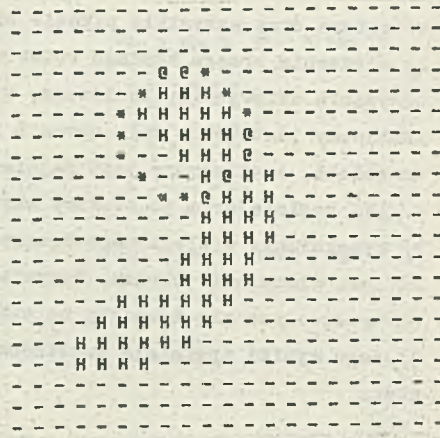


/a/



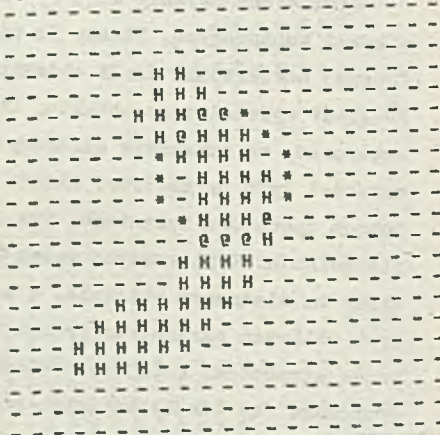
/b/

Rys.6. Kolejne etapy śledzenia obiektu w kształcie linii za pomocą operatora kolistego



/c/

NUMBERS OF CONNECTED PERIPHERIES
 2 2
 POSITIONS X,Y OF THE CONNECTED PERIPHERIES
 10.00 11.50
 6.33 11.75
 SLOPES (IN RAD)
 1.21 1.43
 1 DENOTES LINE SEGMENT, 2 DENOTES LINE TIP
 1 1
 LENGTHS OF LINE SEGMENTS (IN PIXEL NUMBERS)
 3.38 2.27



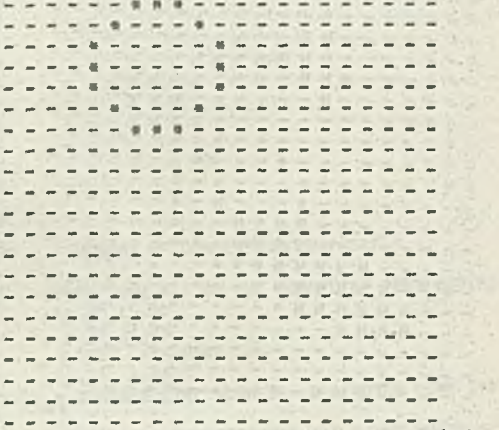
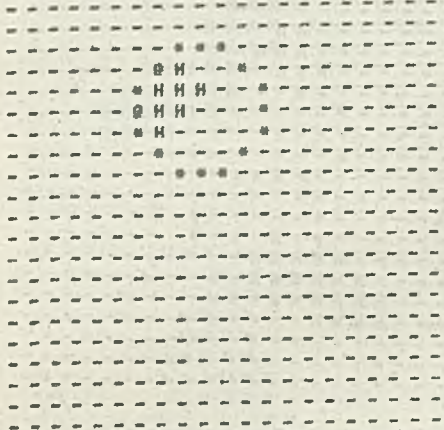
/d/

4. Technika usuwania zakłóceń zachowująca brzegi obiektów

Zakłócenia obrazu binarnego, np. widoczne na rys.3, mogą być usuwane przed procesem segmentacji za pomocą wirującego sąsiedztwa. W pracy tej użyto osiem pozycji dwupikselowego sąsiedztwa (rys.9), wirującego w sąsiedztwie 24-pikselowym. Technika ta została opracowana przez Z. Wójcika [3, 6]. Duże litery A, B, ...H wewnątrz pikseli na rys. 9 wskazują przynależność tych pikseli do poszczególnych pozycji wirującego sąsiedztwa. Są-

NUMBERS OF CONNECTED PERIPHERIES
 2 2 1 1 1 0
 POSITIONS X,Y OF THE CONNECTED PERIPHERIES
 8.57 10.00 11.50 11.00 8.78 6.30 4.33
 5.43 6.33 11.75 13.44 15.44 16.70 17.67
 SLOPES (IN RAD)
 0.56 1.21 1.43 -1.28 -0.73 -0.47 0.00
 1 DENOTES LINE SEGMENT, 2 DENOTES LINE TIP
 1 1 1 1 1 1 2
 LENGTHS OF LINE SEGMENTS (IN PIXEL NUMBERS)
 1.69 3.38 2.27 1.77 2.99 2.78 2.19

NUMBERS OF CONNECTED PERIPHERIES
 0 2 2 2 1 1 1 0
 POSITIONS X,Y OF THE CONNECTED PERIPHERIES
 8.57 8.57 10.00 11.50 11.00 8.78 6.30 4.33
 5.43 5.43 6.33 11.75 13.44 15.44 16.70 17.67
 SLOPES (IN RAD)
 0.00 0.56 1.21 1.43 -1.28 -0.73 -0.47 0.00
 1 DENOTES LINE SEGMENT, 2 DENOTES LINE TIP.
 2 1 1 1 1 1 1 2
 LENGTHS OF LINE SEGMENTS (IN PIXEL NUMBERS)
 0.00 1.69 3.38 2.27 1.77 2.99 2.78 2.19



Rys. 8. -od

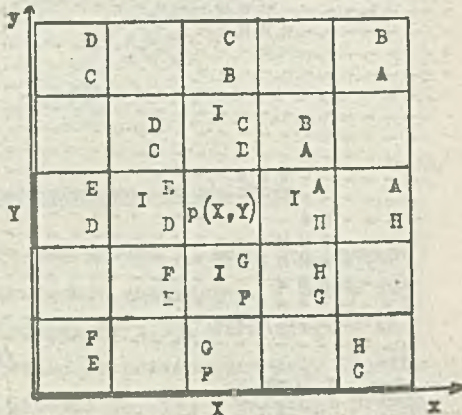
/1/

FINAL SLOPES SMOOTHED
 0.00 0.56 1.11 1.48 -1.25 -0.80 -0.47 0.00
 ALL LENGTH= 17.07 ALL CHANGE IN SLOPES= 2.11
 CHANGE IN SLOPE OF LINE SEGMENTS
 0.00 0.00 0.54 0.38 0.41 0.45 0.34 0.00

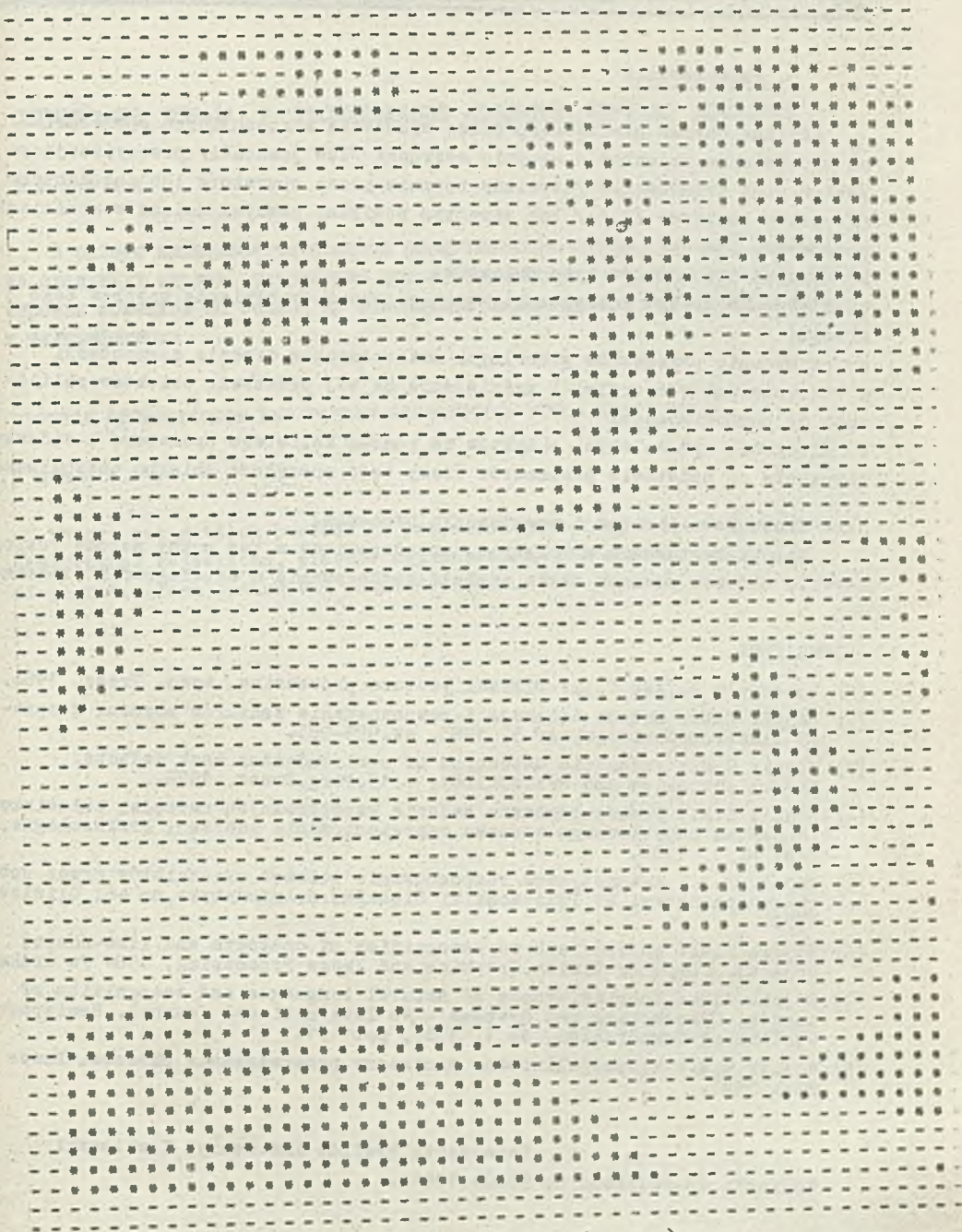
/1/

siedztwo w swojej pozycji n jest jednorodne z pikselem centralnym $p(X,Y)$ operatora 25-pikselowego, jeśli wszystkie piksele tego sąsiedztwa mają tę samą wartość cyfrową co piksel centralny $p(X,Y)$. Dodatkowo badana jest jednorodność czteropikselowego sąsiedztwa oznaczonego literami I względem piksela $p(X,Y)$. Wartość cyfrowa 0 albo 1 piksela centralnego $p(X,Y)$ jest zamieniana na przeciwną, jeżeli nie ma żadnego sąsiedztwa jednorodnego z $p(X,Y)$. Jeżeli istnieje przynajmniej jedno sąsiedztwo jednorodne z $p(X,Y)$, wartość piksela centralnego jest pozostawiana bez zmian. Rys.10 przedstawia wydruk obrazu binarnego z rys.3 z usuniętymi zakłóceniami tła obiektów.

Do usuwania zakłóceń można także zastosować wirujące sąsiedztwo jednopikselowe: usuwanie jest wtedy szybsze, ale usuwane są mniejsze zakłócenia.



Rys.9. Dziewięć pozycji wirującego sąsiedztwa



Rys. 10. Obraz wejściowy głowicy silnika (binarny) z usuniętymi zakłóceniami

5. Podsumowanie

Analiza obrazu graficznego przez wykonanie następujących operacji:

- a) wydzielenie obiektów o stopniu szarości /lub jasności/ przewyższającym pewien próg kwantowania /ustalony ręcznie przez operatora lub automatycznie przez komputer [2,6]/ lub zawartym pomiędzy pewnymi dwiema wartościami progowymi;
- b) wydzielenie brzegów tych obiektów;
- c) śledzenie brzegu każdego obiektu z osobna i wypełnianie wnętrza tego brzegu;
- d) porównanie parametrów globalnych zmierzonych w trakcie segmentacji z wielkościami wzorcowymi i wydzielenie na tej podstawie obiektów zbliżonych do poszukiwanego;
- e) śledzenie wydzielonych obiektów za pomocą kolistego operatora i zidentyfikowanie na podstawie parametrów trasy tego operatora obiektu poszukiwanego,

jest stosunkowo prostym i precyzyjnym procesem.

Oprócz zastosowań w robotyce, przedstawiona w tej pracy metoda rozpoznawania obrazów powinna także znaleźć zastosowanie w metalografii ilościowej.

LITERATURA

- [1] Rosenfeld A., Kak C.A.: Digital picture processing. Acad. Press, 1966.
- [2] Wójcik Z.M.: Metoda detekcji i rozpoznawania konturów obrazu. Rozprawy Elektrotechniczne, nr 3, 1983, ss.959-983.
- [3] Wójcik Z.M.: Automatic detection of semiconductor mask defects. Microelectronics and Reliability, v.15, Perg.Press, 1976.
- [4] Wójcik Z.M.: Prakseologiczne badania współczesnych narzędzi człowieka za pomocą podstawowego warunku reprezentowania zderzeń. Prakseologia, PAN, nr 3, 1980.
- [5] Wójcik Z.M.: Automatische rozpoznawanie położeń przedmiotów przez roboty-manipulatory. ZN Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, nr 46, Gliwice 1978.
- [6] Wójcik Z.M.: An approach to recognition of contours and line-shaped objects. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1984 /w druku/.
- [7] Wójcik Z.M.: Conclusiveness of natural languages and recognition of images. Cybernetics and Systems - An International Journal, Hemisphere Publishing Corporation, No 1, 1983, pp.1-31.
- [8] Wójcik Z.M.: Wyspecjalizowane procesory przetwarzania obrazów. Prace PIE, 1983.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalski

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

СЕКМЕНТАЦИЯ ОБРАЗА И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ, КОРПУСА ДВИГАТЕЛЯ

Резюме

В работе показывается процесс распознавания образа, который состоит из следующих этапов: устранение помех, сегментация образа, начальной сортировки объектов на основе их глобальных параметров, графого кодирования и идентификации.

PICTURE SEGMENTATION AND PATTERN RECOGNITION FOR A MOTOR HEAD

Summary

Pattern recognition process is presented including following stages: disturbance rejections, picture segmentation, introductory selection of plants, graph coding and identification.