

Ryszard S. Choraś

Instytut Telekomunikacji i Elektrotechniki  
Akademia Techniczno-Rolnicza

## ROBOTY INTELIGENTNE A PROBLEM PRZETWARZANIA INFORMACJI GRAFICZNEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono algorytmy automatycznej analizy obrazu obszaru roboczego doprowadzanego na wejście IR/inteligentnego robota/ z kamery telewizyjnej. Główny nacisk położono na wydzielenie obrazu konturowego i jego interpretację ze szczególnym uwzględnieniem algorytmu formowania opisu trójwymiarowego obrazu na podstawie dwuwymiarowego obrazu otrzymywanego z kamery telewizyjnej.

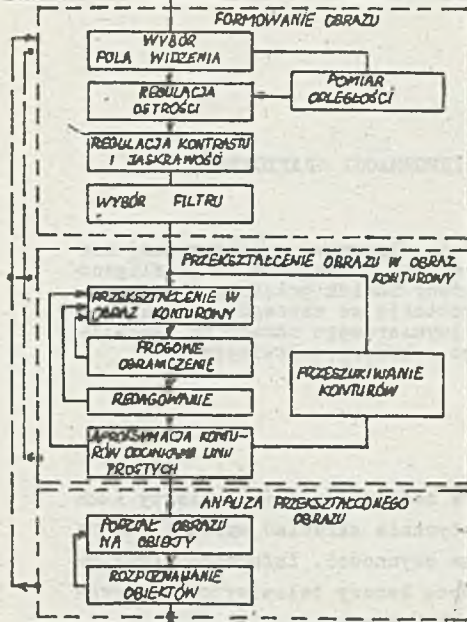
### 1. Wstęp.

Roboty inteligentne /IR/ - to roboty, które mogą rozpoznawać obiekty i ich stany i na podstawie tego rozpoznania automatycznie określać warunki, które muszą być spełnione, aby zrealizować określone czynności. Informacja graficzna /obraz/ doprowadzana jest do  $\text{emc}$  | za pomocą kamery telewizyjnej i przetwarzana za pomocą specjalnych programów w celu rozpoznania obiektów wpadających w pole widzenia kamery, określenia odległości i innych parametrów określających wzajemne położenie obiektów. IR dla realizacji zadania niezbędne są jeszcze liczbowe charakterystyki obiektów zawierające informację o np. najdogodniejszym sposobie podejścia uchwytu manipulatora do obiektu. Dlatego też do opisu wchodzi takie charakterystyki, jak: współrzędne wierzchołków i krawędzi, macierze charakteryzujące położenie związanego z obiektem układu współrzędnych itp. Do otrzymania tych danych wykorzystuje się technikę automatycznej analizy trójwymiarowych obrazów za pomocą  $\text{emc}$ , składającą się z trzech etapów: etapu formowania obrazu, etapu przekształcenia obrazu i etapu analizy przekształconego obrazu /rys.1/. Drugi etap realizuje redukcję redundancji informacji, tj. obraz o wielu poziomach jaskrawości przekształca się w obraz konturowy /2 poziomy jaskrawości / z jednoczesnym sporządzeniem spisu elementów obrazu konturowego. W trzecim etapie trójwymiarowy obraz jest interpretowany jako zbiór znanych programowi obiektów wzorcowych, opis których przechowywany jest w pamięci  $\text{emc}$ .

### 2. Etap przekształcenia obrazu

Obraz obszaru roboczego IR jest przedstawiany w pamięci  $\text{emc}$  w postaci  $n \times m$  wymiarowej macierzy liczb  $g/1, j/ i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$  każda, z których jest średnią jaskrawością elementu obrazu. Konturem będziemy nazywali zbiór

widzianych na obrazie granic między różnymi przedmiotami tworzącymi obraz lub między sąsiednimi powierzchniami tego samego przedmiotu. Jaskrawość tych



Rys.1. Struktura procesu analizy trójwymiarowego obrazu

powierzchni będzie różna, wobec tego punktom konturowym odpowiadają punkty skoku jaskrawości (odwrotne twierdzenie nie zawsze jest słuszne). Proces wykrywania skoków jaskrawości składa się z dwóch operacji, tj. wygładzania i różniczkowania. Wygładzanie realizuje operator

$$g_w(i, j) = \frac{1}{(2h+1)(2b+1)} \sum_{m=-h}^h \sum_{n=-b}^b g(i+m, j+n) \quad (1)$$

natomiast operator różniczkowania to operator gradientu. Jeżeli rozpatrywać prostokąt o wymiarze  $(2i_m+1) \times (2j_m+1)$  z punktem środkowym  $(i_0, j_0)$ , to składowe wektora gradientu w tym punkcie można obliczyć jako:

$$g_x(i_0, j_0) = k \sum_{j=j_0}^{j_0+h} \sum_{i=i_0}^{i_0+h} g(i, j_0+j) - g(i_0, j_0+j) \quad (2)$$

$$g_y(i_0, j_0) = k \sum_{j=j_0}^{j_0+h} \sum_{i=i_0}^{i_0+h} g(i_0, j_0+j) - g(i_0, j_0+j)$$

Oprócz obliczenia wielkości gradientu otrzymujemy także informację o jego kierunku  $\theta$ , tzn.:

$$\sin \theta = \frac{g_y}{|g_r|} \quad ; \quad \cos \theta = \frac{g_x}{|g_r|} \quad (3)$$

wykorzystywaną przy szukaniu konturu. Przekształcenia (1) i (2) przypisują każdemu punktowi  $(i, j)$  wektor gradientu jaskrawości. Wykrywanie punktów obrazu tworzących kontur, gdy informacja a priori o obrazie nie jest znana realizowane jest przez porównanie modułu gradientu w tym punkcie z progiem określonym jako:

$$t_{i_0, j_0} = \delta_2 \frac{1}{(2i_m+1)(2j_m+1)} \sum_{j=j_m}^{j_m} \sum_{i=i_m}^{i_m} |g_r(i_0+1, j_0+j)| \quad (4)$$

gdzie  $\delta_2$  - współczynnik stały.

Bardziej efektywny sposób wydzielenia punktów konturowych to porównanie modułu gradientu  $|g_r(i_0, j_0)|$  i kąta nachylenia konturu  $\theta(i_0, j_0)$  nie tylko z progiem ale i z wartością modułu gradientu i jego kątem nachylenia w punktach sąsiednich. Oznaczając przez  $(i_m, j_m)$  punkt przesunięty o  $m$  w kierunku  $\theta(i_0, j_0)$  mamy:

- 1)  $|g_r(i_0, j_0)| > t_g$
- 2)  $|\theta(i_m, j_m) - \theta(i_0, j_0)| > t_\theta$   $\vee$   $|g_r(i_m, j_m)| < a \cdot |g_r(i_0, j_0)| + b$  (5)
- 3)  $|g_r(i_0, j_0)| = |g_r(i_m, j_m)| < |g_r(i_1, j_1)| - |g_r(i_0, j_0)|$



gdzie:  $-M \leq m \leq M$ ,  $-M \leq l \leq M$ ,  $M, t_g, t_p, a, b$  - pewne stałe.

Jeżeli przy sprawdzaniu warunku 2 okazuje się, że jest on spełniony przy  $m_1$  i  $m_2$  przeciwnych co do znaku, to punkt  $(i_0, j_0)$  jest punktem konturowym. Jeżeli warunek 2 jest spełniony tylko dla jednego  $m$ /warunek 3 w punkcie  $(i_1, j_1)$  takim, że  $m \cdot l < 0$ , wtedy punkt  $(i_0, j_0)$  nie jest punktem konturowym. Sposób ten zapewnia wydzielenie konturu składającego się nie tylko z odcinków linii prostych ale i z łuków.

Po wydzieleniu punktów konturowych w pamięci emc znajdują się współrzędne punktów konturu  $\{(x_i, y_i)\}$ . Linie konturowe otrzymane w wyniku zastosowania opisanych algorytmów dalekie są od idealnych, np. są one rozmyte, poprzerywane, dlatego też stosuje się specjalne procedury pocieniania linii i łączenia punktów w linie ciągłe. Zbiór  $\{(x_i, y_i)\}$  dzielony jest na części (segmentacja), odpowiadające odcinkom konturu (odcinki prostych, łuki, elipsy), a następnie tworzone jest równanie odpowiednich elementów. Jednym ze sposobów segmentacji jest parametryzacja równania elementów konturu a następnie przedstawienie każdego punktu o współrzędnych  $(x_i, y_i)$  w przestrzeni parametrów. Wykorzystując teorię optymalnej filtracji (przy aproksymacji odcinkami linii prostych) możemy zapisać równania "obiektu" i "pomiaru" jako:

$$\begin{aligned} a_{i+1} &= a_i & b_{i+1} &= b_i & (6) \\ z_i \cong 1 &= a_i x_i + b_i y_i + z_1 & & & (7) \end{aligned}$$

Oznaczmy przez  $\hat{a}_n$  i  $\hat{b}_n$  oceny współczynników  $a_n$  i  $b_n$  po przetworzeniu  $n$  par liczb  $(x_i, y_i)$ . Rekurencyjny algorytm przetwarzania jest następujący:

$$\begin{aligned} \hat{a}_n &= \hat{a}_{n-1} + \frac{1}{\sigma^2} \cdot (p_n^{11} x_n + p_n^{12} y_n) \cdot (1 - \hat{a}_{n-1} x_n - \hat{b}_{n-1} y_n) & (8) \\ \hat{b}_n &= \hat{b}_{n-1} + \frac{1}{\sigma^2} \cdot (p_n^{12} x_n + p_n^{22} y_n) \cdot (1 - \hat{a}_{n-1} x_n - \hat{b}_{n-1} y_n) \end{aligned}$$

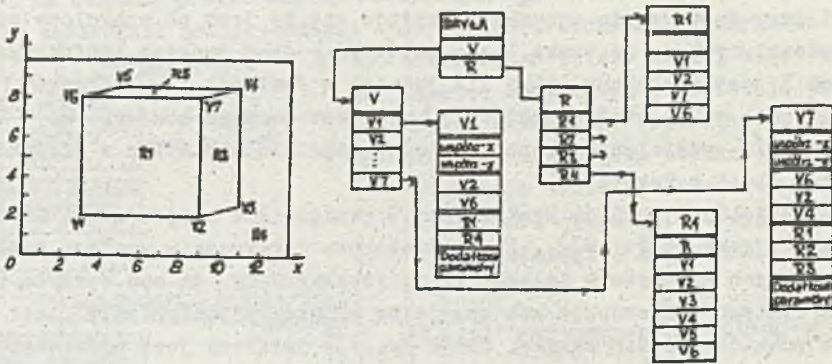
gdzie  $p_n^{11}, p_n^{12}, p_n^{21}, p_n^{22}$  składowe macierzy:

$$P_n = \begin{bmatrix} p_n^{11} & p_n^{12} \\ p_n^{21} & p_n^{22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

obliczanej jako:

$$\begin{aligned} P_n &= P_{n-1} - \left( x_n^2 \cdot p_{n-1}^{11} + 2x_n y_n \cdot p_{n-1}^{12} + y_n^2 \cdot p_{n-1}^{22} + \sigma^2 \right)^{-1} \times & (10) \\ &\times P_{n-1} \cdot \begin{bmatrix} x_n^2 & x_n y_n \\ x_n y_n & y_n^2 \end{bmatrix} \cdot P_{n-1} \end{aligned}$$

Po przeprowadzeniu wszystkich operacji buduje się opis otrzymanego rysunku konturowego dogodny dla dalszego przetwarzania. Opis ten zawiera dwie składowe: 1/ topologiczne właściwości rysunku konturowego, 2/ metryczne właściwości rysunku konturowego. Część opisu związana z topologią realizowana jest w formie opisu elementów konturu (tzn. węzłów, krawędzi i obszarów) i związków między nimi. Metryczne właściwości wyrażane są przez współrzędne węzłów rysunku konturowego. Przykładowy opis rysunku konturowego pokazano na rys.2.



Rys. 2. Przykładowy opis rysunku konturowego BRYLA

### 3. Analiza obrazu przekształconego

Po otrzymaniu obrazu konturowego i wykonaniu listy elementów konturów, można przystąpić do rozpoznawania obiektów znajdujących się na obrazie konturowym i analizy ich wzajemnego położenia. Przy analizie celowe jest wykorzystanie dwóch ogólnych właściwości obrazu dwuwymiarowego, a mianowicie: a) linie są perspektywicznymi projekcjami powierzchni granicznych obiektów oraz b) gdy jeden obiekt znajduje się na drugim, to w ogólnym przypadku górny obiekt niecałkowicie zasłania płaszczyzną, na której się znajduje.

Rozpatrzmy przykład programu krokowego procesu rozpoznawania obiektów, wykorzystujący na każdym etapie wyniki wcześniej zrealizowanych etapów [2,3]. Różnica jasności obiektów i tła jest wystarczająca dla określenia w przybliżeniu granicy między nimi. Program zapewnia rozpoznawanie złożonych trójwymiarowych obrazów.

Wszystkie krawędzie obiektów w obrazie dzieli się na trzy klasy:

1) linie konturowe - granica obiektu i tła. Na rys. 3 linie AB, BC, CD, DE, EF, FG, GH, IJ, JK, KL, LM, MN, NO, AO, VW, WX, XY, YZ, ZV są liniami konturowymi;

2) linie graniczne - linie graniczne obiektu. Linie konturowe są jednocześnie liniami granicznymi. Na rys. 3 granicznymi liniami są linie konturowe i linie na granicy dwóch obiektów, tj. CP, PH, JQ, QR i RM;

3) linie wewnętrzne przedstawiają sobą linie przecięcia dwóch płaszczyzn tego samego obiektu. Linie JS, LS, QS, PT, NT, AT, PU, GU, DU i XV są liniami wewnętrznymi.

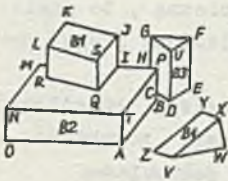
Proces rozpoznawania rozpoczyna się od wydzielenia linii konturowych. Jeżeli wydzielony został więcej niż jeden kontur (na rys. 3 jeden kontur dla obiektów B1, B2, B3, drugi dla obiektu B4J), to kolejno poszukuje się



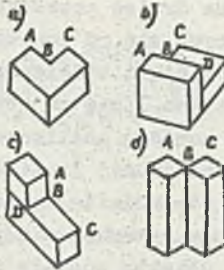
granicznych i wewnętrznych linii dla każdego konturu, przy czym do znalezienia linii wewnętrznych trzeba znać linie graniczne.

Kolejność uzyskiwania informacji o obiekcie jest następująca:

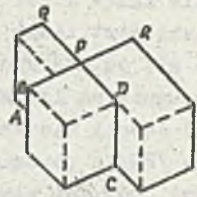
1) Jeżeli dwie graniczne linie tworzą wklęsłą część obiektu i mają wspólny punkt B (rys.4a, b), to należy znaleźć przedłużenie tych linii. Jeżeli istnieje tylko przedłużenie jednej z linii, analizuje się kolejno punkty linii tworzącej to przedłużenie.



Rys. 3. Trójwymiarowy obraz.



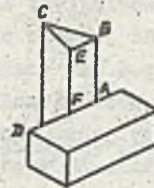
Rys. 4. Graniczne linie tworzące wklęsłą część obiektu.



Rys.5. Linie przedłużenia we wspólnym punkcie P dwóch linii.



Rys. 6. Linie znajdowane na drodze przeszukiwania.



Rys. 7. Przeszukiwanie linii wewnętrznych.

2) Jeżeli dwie linie tworzące wklęsłą część obiektu nie posiadają żadnego przedłużenia, to należy znaleźć inną linię wychodzącą ze wspólnego punktu tych linii. Jeżeli istnieje tylko jedna taka linia, to następuje analiza tej linii (rys.4c linia HD).

3) Jeżeli we wspólnym punkcie dwóch linii tworzących wklęsłą część obiektu można znaleźć dwie linie przedłużenia, to należy znaleźć linię trzecią. Jeżeli znajduje się tylko jedną taką linię, to analizuje się tę linię (rys.4d, gdzie trzecia linia jest linią graniczną). Jeżeli znajduje się więcej niż jedną linię na etapach przedstawionych w p.1-3, to analizę tych linii odkłada się do uzyskania wyników otrzymanych przy rozpatrywaniu prostszych przypadków. Na rys. 5 przedstawiono dwie linie przedłużenia, znalezione we wspól-

nym punkcie P dwóch linii tworzących wklęsłą część obiektu. Interpretacja tych dwóch linii zostaje odłożona do otrzymania innych wyników, w dalszym ciągu rozpatruje się linie konturowe, natomiast linie AB, CD zostaną znalezione później.

4) Jeżeli koniec linii granicznej jest nie połączony, jak np. linia PQ na rys. 6, to należy znaleźć linię, zaczynającą się od końcowego punktu tej linii (Q - w tym przypadku) na drodze przeszukiwania. Jeżeli znalezionych zostanie kilka linii zaczynających się od punktu Q, to należy określić, która z linii jest linią graniczną. Jeżeli wydzielono linię graniczną, to analizuje się ją. Na rys. 6 punktowane linie ze strzałkami, znalezione drogą poszukiwania, są liniami, które zostają analizowane.

5) Jeżeli nie znaleziono ani jednej linii w p.4, to należy przedłużyć linię /PQ/ o pewną długość i stwierdzić czy dana linia jest połączona z innymi, czy też nie. Jeżeli nie, stosuje się poszukiwanie jak w p.4.

6) Jeżeli linie graniczne obiektu zostały znalezione, to trzeba wybrać węzły, z których mogą wychodzić linie wewnętrzne (wybiera się górne węzły obiektów). W każdym takim węźle należy znaleźć wewnętrzną linię, równoległą do linii granicznych. Jeżeli zostaje znaleziona jedna linia, analizujemy ją. Poszukiwanie równoległych linii przeprowadza się w niewielkim obszarze (żeby linie należały do jednego obiektu).

7) Jeżeli w p.6 nie znaleziono takiej linii, to należy znaleźć wewnętrzną linię na drodze poszukiwania między dwiema sąsiadującymi liniami granicznymi. Jeżeli znajdujemy jedną linię - analizujemy ją. Na rys.7 poszukiwanie takie między liniami BA i BC jest niezbędne, ażeby znaleźć linię EE.

8) Jeżeli jeden koniec linii wewnętrznej nie jest połączony z żadną linią, to należy znaleźć linie wychodzące z tego końca drogą przeszukiwania. W przypadku znalezienia linii - analizujemy ją.

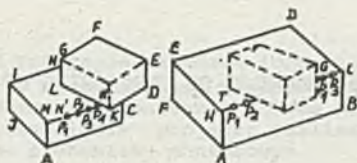
9) Jeżeli nie znaleziono ani jednej linii w p. 8, należy przedłużyć linię na określoną długość, jak w p. 5 i sprawdzić, czy łączy się ona z innymi liniami. Jeżeli nie, to wracamy do p. 8. Proces powtarza się aż do znalezienia linii, z którą się łączy dana linia. Na rys.8 linia MN nie jest połączona z innymi liniami, przedłużamy ją do P1 aż do momentu, kiedy połączy się z linią KL w punkcie N. Na każdym etapie po jego zakończeniu otrzymujemy informację, którą interpretuje się w przedstawiony sposób.

Przedstawiony program ma ograniczone możliwości (jako przykład rys.9a,b, gdzie program nie może rozpoznać takich obiektów), jednak niektóre z ograniczeń mogą być wyeliminowane poprzez uzupełnienie programu.

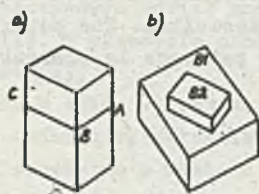
Opisany proces analizy obrazu trójwymiarowego przez IR jest stosunkowo prosty i nadający się do analizy obrazów o specjalnych wymaganiach (wysoka kontrastowość, proste kształty obiektów, itp.). Rozwój metod wydzielenia i rozpoznawania trójwymiarowych obiektów będzie następował przez wykorzystanie metod adaptacyjnych. Ograniczeniem pozostanie jednak czas obróbki, który w przypadku analizy trójwymiarowych obrazów metodami adaptacyjnymi gwałtownie



wzrasta. Obecnie trudno przewidzieć konkretne zadania, które będą rozwiązywały „roboty z widzeniem”, chociaż wskazać obszar, w którym takie roboty będą niezbędne, jest stosunkowo łatwo. W związku z tym należy oczekiwać szybkiego rozwoju prac modelowych na temat obróbki przez roboty informacji wizualnej.



Rys. 8. Sprawdzenie poprawności analizy linii (linie punktowe na tym etapie nie zostały wykryte na drodze poszukiwania)



Rys. 9. Obiekty nierozpoznawalne przez przedstawiony program

LITERATURA

- [1] Duda O.R., Hart P. E.: Pattern classification and scene analysis. Wiley and Sons, NY-London, 1973.
- [2] Shirai Y., Suwa M.: Recognition of polyhedrons with a range finder. Pattern recognition vol.4 no.3, 1973.
- [3] Integralnyje roboty - sbornik stati. Mir, Moskwa 1976.
- [4] Choraś R.: Rozpoznawanie i przetwarzanie obrazów przy wykorzystaniu robotów-manipulatorów. Elektronika nr1, 1978.

РОБОТЫ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ А ПРОБЛЕМА ОБРАБОТКИ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Резюме

В реферате дается описание алгоритмов автоматического анализа зрительной информации о рабочем пространстве; эта информация поступает на

вход ИР от телевизионной системы. Трехмерная сцена интерпретируется как набор известных программе прототипов объектов, описания которых хранятся в памяти машин. Интерпретация заключается в том чтобы на основании двумерного изображения и информации о дальности получить в терминах знания робота трехмерное описание предъявленной сцены.

#### INTELLIGENT ROBOTS AND THE PROBLEM OF PROCESSING OF VISUAL INFORMATION

##### S u m m a r y

The stages in processing the three-dimensional images are presented. The special kind of pattern recognition which uses robots' processing of the visual information is described. The heterarchical programme of the recognition for polyhedra patterns is presented.