

Henryk Palus

Politechnika Śląska

REGUŁOWE SYSTEMY WIZYJNE

RULE-BASED VISION SYSTEMS

ПРОДУКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Streszczenie: W pracy zdefiniowano pojęcie inteligentnego systemu wizyjnego. Przedstawiono najważniejsze dotychczasowe zastosowania reguł w systemach wizyjnych. Przydatność systemów regułowych zilustrowano za pomocą programu rozpoznającego proste figury geometryczne.

Summary: An idea of intelligent computer vision system is defined. The most important existing applications of rules in computer vision systems are reviewed. The usefulness of the rule-based systems is shown by the example of the computer program for simple geometrical figures recognition.

Резюме: В работе определено понятие интеллектуальной системы технического зрения. Представлены основные прежние применения продуний в системах технического зрения. Пригодность продукционных систем проиллюстрирована с помощью программы распознающей простые геометрические фигуры.

1. Wprowadzenie

Tradycyjny system wizyjny nie dysponuje wiedzą o obiektach sceny z wyjątkiem informacji o nich zawartej w obrazie. Ponieważ człowiek dla percepcji wzrokowej używa zarówno sensorów, jak i inteligencji, to celowe wydaje się stosowanie w systemach wizyjnych metod sztucznej inteligencji (SI). Potwierdza to rozwój systemów wizyjnych, który następuje w ostatnich latach w wyniku prac prowadzonych w 2 głównych kierunkach:

- wprowadzanie coraz szybszych rozwiązań sprzętowych (układy scalone VLSI: procesory tablicowe, sygnałowe i transputery),
- budowa coraz bardziej inteligentnych systemów w oparciu o osiągnięcia SI, szczególnie w zakresie systemów ekspertowych.

Pierwszy kierunek jest związany z wymaganiem pracy w czasie rzeczywistym, stawianym przez systemy przemysłowe. Przetwarzanie w czasie rzeczywistym jest możliwe przy zastosowaniu dla systemu wizyjnego architektury o charakterze równoległym. Drugi kierunek jest związany z szerokim zakresem zadań, które można realizować za pomocą metod SI w systemach wizyjnych, a mianowicie [1]:

- 1) Reprezentacja wiedzy o obiektach, szczególnie odnośnie kształtu i relacji przestrzennych,
- 2) Metody wnioskowania o zależnościach przestrzennych między obiektami,
- 3) Interakcja pomiędzy wizją niskiego poziomu i wizją wysokiego poziomu,
- 4) Interpretacja obrazów 3D,
- 5) Interakcja pomiędzy obrazem oraz informacją innego typu o scenie, np. opisem tekstowym.

Zastosowanie metod SI doprowadziło do powstania dziedziny, zwanej rozumieniem obrazu (*ang. image understanding*). Różnicę pomiędzy klasyczną wizją a rozumieniem obrazu pokazemy na przykładzie elementarnego zadania przedstawionego na rys.1 [2].

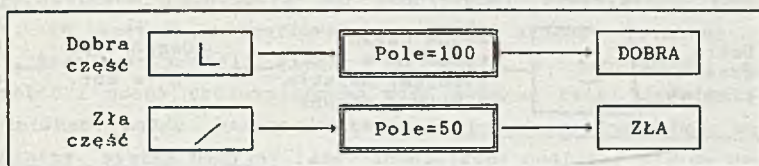
P r z y k ł a d 1

Zadanie polega na rozpoznaniu obiektu o kształcie zbliżonym do litery 'L' i odróżnieniu go od innych obiektów. Przy zastosowaniu klasycznego podejścia sprawdza się pole powierzchni obiektu przez zliczanie ciemnych pikseli. Jednak rzeczywiste warunki w systemach przemysłowych są zmienne. Może występować cień, który zwiększa pole powierzchni części, dwie części mogą się nakładać, część może być zgięta, a mimo to pole powierzchni będzie odpowiadać części dobrej itd. Pokazano to na rys.2. Niektóre z błędnych klasyfikacji mogą być usunięte przez zastosowanie dodatkowych cech, mechanicznego pozycjonowania części czy zmiany układu oświetleniowego. Ogranicza to jednak elastyczność systemu wizyjnego.

Podejście zwane rozumieniem obrazu jest zupełnie inne. Zamiast stosowania ilościowych cech (np. zliczania pikseli) polega ono na jakościowym opisie obrazu, podobnie jak to czyni człowiek. Jest to dużo bardziej skomplikowany proces, ale dostarcza użytecznej informacji do podejmowania decyzji kwalifikującej części. Istotą systemu opartego na rozumieniu obrazu przedstawia rys.3. Istnieją już takie systemy, które pozwalają pracować z częściami wzajemnie zasłaniającymi się.

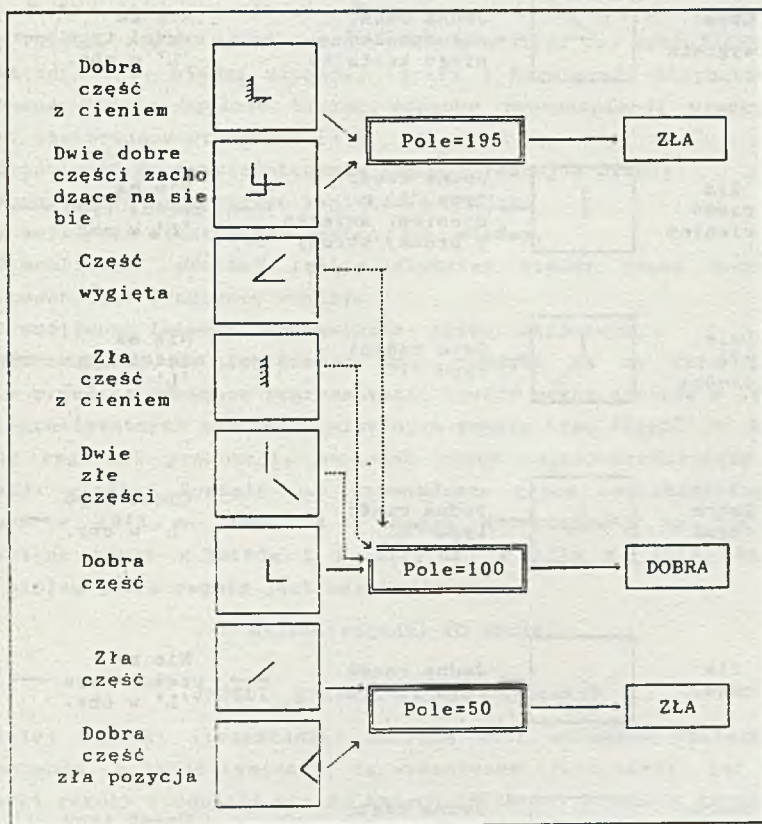
Wszystkie programy komputerowe, które rozwiązują problemy, oparte są na wykorzystaniu wiedzy *implicite* lub *explicite*. Programy z wiedzą *implicite* są nieelastyczne, natomiast tworząc programy z wiedzą *explicite* dąży się do oddzielenia źródła wiedzy od przetwarzania tej wiedzy (*ang. knowledge-based systems*). Użycie wiedzy *explicite* pozwala użytkownikowi rozumieć i kontrolować pracę programu. Najlepszym przykładem systemu z bazą wiedzy jest system ekspertowy.

W konwencjonalnych systemach wizyjnych zarówno kolejność operacji, jak i typ stosowanego dla danej operacji algorytmu zależą od projektanta systemu. Coraz częściej podkreśla się jednak potrzebę budowy systemów wizyjnych [3], w których wiedza o charakterze analizowanej sceny, obserwowanym procesie i dostępnych technikach obliczeniowych dostarczana jest *explicite* (*ang. knowledge-based vision*). Taki system może "sam się projektować" poprzez wybór odpowiedniej sekwencji technik. System jest więc w stanie zmieniać kolejność używanych algorytmów, wybierać następny krok bazując na poprzednim oraz używać różnych sekwencji algorytmów dla różnych części obrazu.



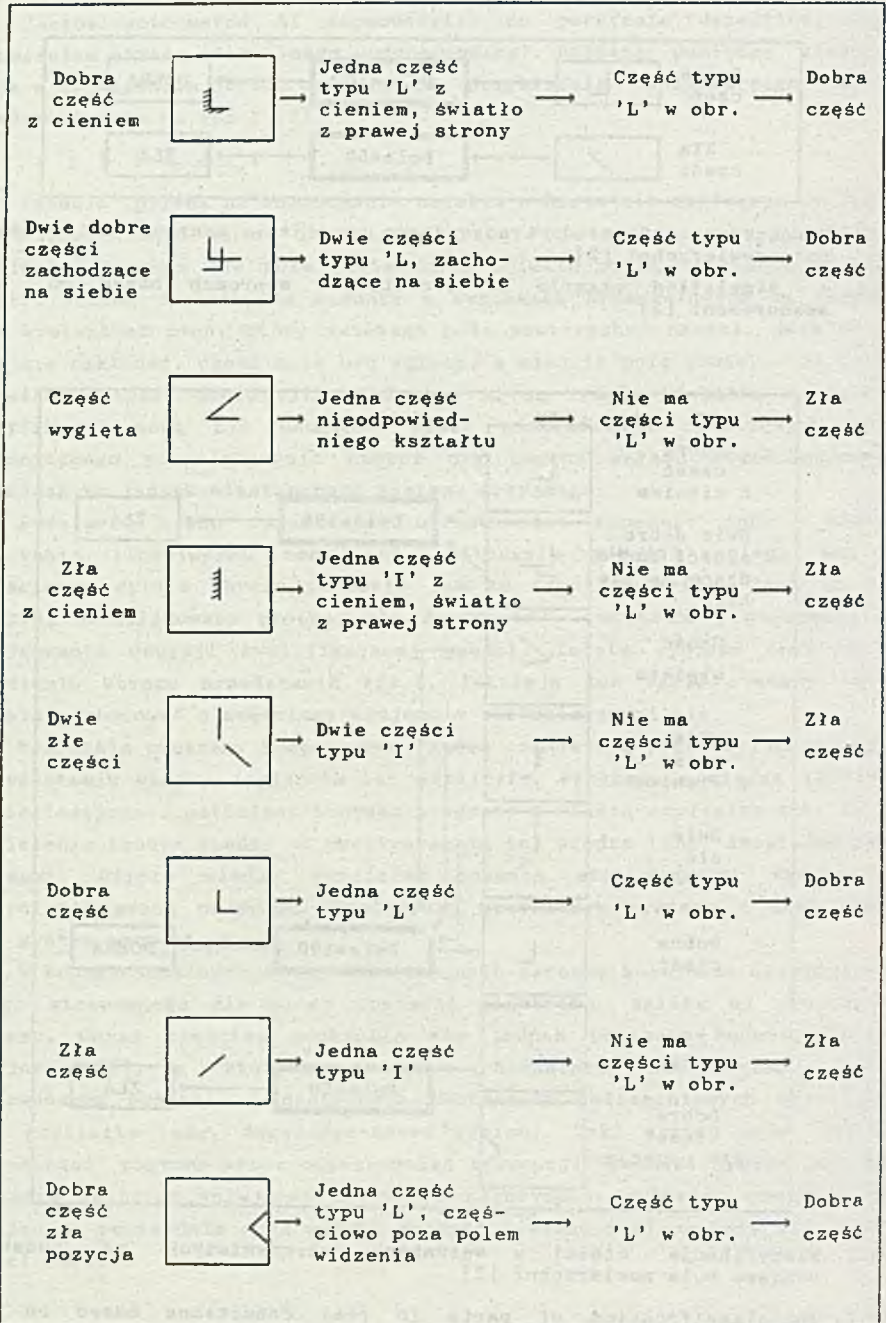
Rys.1. Uproszczony przykład tradycyjnego podejścia opartego na pomiarze pola powierzchni [2]

Fig.1. A simplified example of traditional approach based on area measurement [2]



Rys.2. Klasyfikacja części w warunkach rzeczywistych na podstawie pomiaru pola powierzchni [2]

Fig.2. The classification of parts in real conditions based on area measurement



Rys.3. Klasyfikacja części: podejście zwane "rozumieniem obrazu" [2]
 Fig.3. The classification of parts: the image understanding approach [2]

Zdania (odnośnie do nazywania takiego systemu z bazą wiedzy wizyjnym systemem ekspertowym) są podzielone. Przeciwnicy tego terminu uważają, że systemy ekspertowe rozwiązują złożone problemy wymagające wysoko specjalistycznej wiedzy używanej w szczególny sposób, a interpretacji sceny trójwymiarowej może dokonać nawet dziecko [4,5]. Aby tego uniknąć można stosować termin system wizyjny z bazą wiedzy lub inteligentny system wizyjny (ang. *intelligent computer vision system*) [6].

Inteligentne systemy wizyjne szerzej przedstawiono w pracy autora [7].

2. Pojęcie reguły w reprezentacji wiedzy

Inteligentne systemy wizyjne wymagają w nie mniejszym stopniu niż inne działy SI kompletnej, właściwej, elastycznej i sprawnej reprezentacji wiedzy. W tym celu stosuje się dużą różnorodność sposobów reprezentacji wiedzy: reguły, ramki, sieci semantyczne, gramatyki czy specyficzne sposoby reprezentacji tzw. wiedzy wizyjnej (grafy i hipergrafy atrybutowe, bryły elementarne itd.). Ogólnie biorąc, sposoby reprezentacji wiedzy powinny spełniać następujące wymagania [8]:

- 1) zdolność do reprezentowania różnych rodzajów wiedzy,
- 2) możliwość efektywnego pamiętania wiedzy,
- 3) możliwość efektywnego dostępu do wiedzy,
- 4) możliwość prostej zmiany zawartej wiedzy przez dodanie lub usunięcie fragmentu wiedzy,
- 5) możliwość łatwego zrozumienia przez człowieka.

Nietrudno zauważyć, że niektóre z tych wymagań są ze sobą sprzeczne. Obszerny przegląd sposobów reprezentacji wiedzy można znaleźć w [9].

W inteligentnych systemach wizyjnych reguły typu JEŻELI → TO, zwane niekiedy regułami produkcji, są obok ramek najpopularniejszym sposobem reprezentacji wiedzy. Zostały one wprowadzone przez amerykańskiego logika L.E.Posta w 1943 r. [10], a w wizji komputerowej po raz pierwszy wykorzystane przez M.Bairda i M.Kelly'ego w 1974 r. [11]. Najprostszy sposób zapisu jądra reguły jest następujący:

JEŻELI warunki TO akcje

lub

JEŻELI przesłanki TO wnioski.

Najczęściej warunki (przesłanki) dotyczą cech obiektów występujących w danym zadaniu, a akcje (wnioski) są wykonywane tylko wtedy, gdy spełnione są warunki reguły i odnoszą się do samych obiektów. Niekiedy regułę rozumie się szerzej, wtedy jądra reguły towarzyszyć mogą: imię reguły (np. jej numer porządkowy w zbiorze reguł), pole charakteryzujące dziedzinę zastosowania reguły, warunek stosowania jądra (dodatkowe wyrażenie logiczne) oraz procedura, którą należy wykonać po wykonaniu jądra reguły. Reprezentacja regułowa jest przez wielu uznawana za podstawowy model ludzkiego wnioskowania. Wśród jej zalet wymienia się:

- prostotę zapisu - duża część praktycznej wiedzy ludzkiej może być zapisana w postaci reguł, dlatego regułę łatwo zapisać w języku naturalnym,
- modułowość - reguła zawiera mały określony fragment wiedzy, na ogół dołączenie lub usunięcie reguły nie wpływa na pozostałe reguły,
- łatwość rozwoju - powiększanie zbioru reguł przez proste dodawanie następnych reguł.

Dalsze szczegóły odnośnie do reguł niedeterministycznych, kilkunastu zasad wyboru reguły najmocniejszej w sytuacji konfliktowej, języków i specjalnych środowisk programowych wykorzystywanych w systemach regułowych (*ang. rule-based systems*) można znaleźć w podręcznikach sztucznej inteligencji, np. [12].

3. Przegląd regułowych systemów wizyjnych

Metody SI w systemach wizyjnych mogą być stosowane w całym procesie przetwarzania obrazu: od etapu poprawiania obrazu i detekcji krawędzi aż po interpretację obrazu. W literaturze można znaleźć przykłady wykorzystania wiedzy już w procesie wizji niskiego poziomu. Znanym przykładem są prace Levine i Nazifa, dotyczące segmentacji z wykorzystaniem reguł [13,14].

Przykład 2

Wiedza o segmentacji jest zawarta w regułach odnoszących się do cech takich, jak: regiony, linie i pola. Poniżej przedstawiono przykłady reguł używanych przez Levine i Nazifa [14]:

REGUŁA 1

- JEŻELI: (1) REGION JEST MAŁY
 (2) PRZYLEGANIE DO INNEGO REGIONU JEST DUŻE
 (3) RÓŻNICA W WARTOŚCIACH CECH OBYDWA REGIONÓW JEST NIEDUŻA
 TO: (1) POŁĄCZ OBYDWA REGIONY

REGUŁA 2

- JEŻELI: (1) REGION NIE JEST MAŁY
 (2) REGION JEST PODZIELONY PRZEZ LINIĘ
 (3) DŁUGOŚĆ LINII NIE JEST MAŁA
 (4) ŚREDNI GRADIENT LINII JEST DUŻY
 TO: (1) PODZIEL REGION ZA POMOCĄ TEJ LINII

Oprócz przedstawionych powyżej reguł, zawierających wiedzę, program dokonujący segmentacji (*ang. segmenter*) używa reguł sterujących, które decydują o tym, jaki region, linia czy powierzchnia będą poddane segmentacji w następnej kolejności oraz tzw. metareguł. Metareguły decydują o wyborze reguł i pozwalają zminimalizować błędy segmentacji przez wybór najlepszej reguły w danym miejscu przetwarzania. Podobnie system opisany w [15] jest systemem regułowym współdziałającym z programem dokonującym segmentacji w celu sprawdzenia i ewentualnego poprawienia jej wyników.

Niekiedy dokonuje się segmentacji bez użycia wiedzy, którą stosuje się w postaci reguł do interpretacji obrazu po segmentacji. Takie możliwości posiada system wizyjny Ohty, ograniczony do cech 2D [16]. Dzieli on obraz kolorowy na regiony oraz etykietuje je (*ang. labeling*) odpowiednio jako: DOM, NIEBO, TRAWA LUB DROGA używając przy tym takich cech 2D, jak: kolor, kształt, położenie w obrazie i sąsiedztwo. Wiedza potrzebna do etykietowania jest w nim reprezentowana jako zbiór reguł. Podobnie z obrazami naturalnymi, tym razem scen lotniskowych, pracuje regułowy system wizyjny SPAM [17].

Systemy wizyjne z regułową bazą wiedzy są szeroko stosowane w wizyjnej kontroli jakości, np. płytek drukowanych [18], metalowych azurów do układów scalonych [19] czy innych produkowanych podzespołów [20]. W systemach tych reguły najczęściej wyrażają wymagania projektowe.

Wydaje się, że w chwili obecnej nie istnieje jeszcze definitywna ocena przydatności systemów regułowych w wizji komputerowej. Jedną z pierwszych prób takiej oceny podjęto w pracy [21]. Przeprowadzono segmentację i interpretację obrazów dwójakiego rodzaju: obrazów płytek drukowanych i obrazów satelitarnych kry lodowej na oceanie. W badaniach korzystano ze środowiska Knowledge Tool firmy IBM, pozwalającego mieszać kod proceduralny z deklaratywnym. Stwierdzono, że podejście oparte na regułach jest znacznie wolniejsze w porównaniu z programowaniem proceduralnym. W szczególności dotyczy to wizji niskiego i średniego poziomu. Tłumaczy się to tym, że przy manipulowaniu danymi symbolicznymi znalezienie elementów "przylegających" lub "bliskich" wymaga przeszukania wszystkich elementów, gdy tymczasem dla danych rastrowych przeszukiwanie może być ograniczone do wybranego okna w obrazie. Podobnie sprawdzenie, która krawędź może łączyć się z daną krawędzią w przypadku danych symbolicznych, wymaga sprawdzenia wszystkich krawędzi. Można mieć nadzieję, że postęp w dziedzinie architektury i algorytmów wizyjnych zwiększy przydatność reguł.

4. Rozpoznawanie prostych figur w regułowym systemie wizyjnym

System reguł może stanowić bazę wiedzy w programie rozpoznającym proste figury geometryczne [22]. Uruchomiono odpowiedni program w języku Turbo Prolog. Użytkownik programu za pomocą myszy może tworzyć obrazy konturowe zawierające różne figury, a program dokonuje ich rozpoznawania. Wierzchołki figur można wybierać spośród pikseli obrazu o wymiarach 640*480, z wyjątkiem wąskiej strefy brzegowej wykorzystywanej na ramkę obrazu i menu. Aby uniknąć łączenia poszczególnych figur należy po zakończeniu rysowania danej figury wyjść do menu i wybrać tryb rysowania następnej figury. W obecnej wersji programu baza wiedzy zawiera 6 następujących reguł:

REGUŁA 1

JEZELI: $Y(A)=Y(B)$
TO: LINIA AB JEST POZIOMA

REGUŁA 2

JEZELI: $X(A)=X(B)$
TO: LINIA AB JEST PIONOWA

REGUŁA 3

JEZELI: $X(A)\neq X(B)$
I $Y(A)\neq Y(B)$
TO: LINIA AB JEST POD KĄTEM

REGUŁA 4

JEZELI: FIGURA JEST ZAMKNIĘTA
I MA 3 BOKI
TO: FIGURA JEST TRÓJKĄTEM

REGUŁA 5

JEZELI: FIGURA JEST ZAMKNIĘTA
I MA 4 BOKI
I MA 2 BOKI JEDNAKOWEJ DŁUGOŚCI
I MA 2 POZOSTAŁE BOKI JEDNAKOWEJ DŁUGOŚCI
I DŁUGOŚCI DWÓCH PAR BOKÓW SĄ RÓŻNE
TO: FIGURA JEST PROSTOKĄTEM

REGUŁA 6

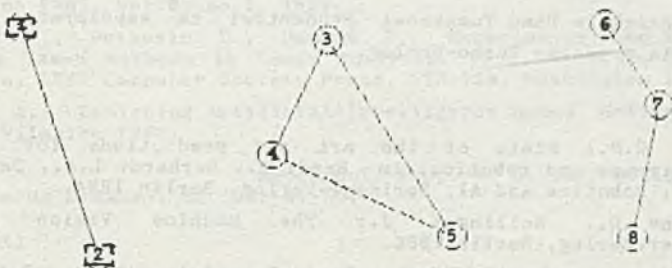
JEZELI: FIGURA JEST ZAMKNIĘTA
I MA 4 BOKI
I MA 2 BOKI JEDNAKOWEJ DŁUGOŚCI
I MA 2 POZOSTAŁE BOKI JEDNAKOWEJ DŁUGOŚCI
I DŁUGOŚCI DWÓCH PAR BOKÓW SĄ RÓWNE
TO: FIGURA JEST KWADRATEM

Program pozwala rozpoznawać następujące figury: pojedynczy punkt, linię poziomą, linię pionową, linię pod kątem, trójkąt, prostokąt i kwadrat. W przypadku gdy obraz zawiera kilka figur, to program dokonuje kolejnego ich rozpoznawania. Gdy figura nie jest zdefiniowana w bazie wiedzy, to program stwierdza, że nie zna takiej figury. Łatwo zauważyć, że tak zdefiniowany system regułowy nie odróżnia równoległoboków i rombów od prostokątów i kwadratów. Rysunek 4 przedstawia kolejne etapy rozpoznawania figur zawartych w przykładowym obrazie.

5. Kierunki dalszych prac

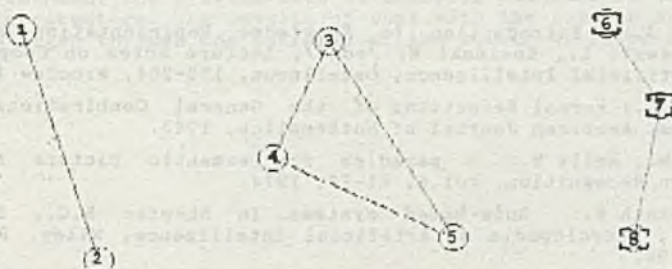
Przedstawione w artykule wyniki mają charakter rozpoznawczy i wstępny. Program służący do rozpoznawania prostych figur ma duże możliwości rozwoju. Można rozbudowywać regułową bazę wiedzy w celu rozpoznawania innych,

Linia pod katem



*	Nowy Punkt	Nowa Figura	Rozpoznawanie	Kosowanie	Koniec
---	------------	-------------	---------------	-----------	--------

Nie znam tej figury



*	Nowy Punkt	Nowa Figura	Rozpoznawanie	Kosowanie	Koniec
---	------------	-------------	---------------	-----------	--------

Rys. 4. Rozpoznawanie prostych figur geometrycznych w przykładowym obrazie (figury rozpoznawane zaznaczone)

Fig. 4. The recognition of simple geometrical shapes in the example image (the recognized shapes are marked)

bardziej złożonych figur. Ciekawym i trudniejszym zagadnieniem będzie zastosowanie programu do obrazów rastrowych pozyskiwanych za pośrednictwem kamery telewizyjnej.

6. Podziękowanie

Autor dziękuje Panu Tomaszowi Studentowi za współpracę w zakresie programowania w języku Turbo-Prolog.

LITERATURA

- [1] Nagel R.N.: State of the art and predictions for artificial intelligence and robotics. In Brady M., Gerhardt L.A., Davidson H.F. /eds./, Robotics and AI, Springer-Verlag, Berlin 1984.
- [2] Braggins D., Hollingum J.: The Machine Vision Sourcebook. Springer-Verlag, Berlin 1986.
- [3] Rosenfeld A.: Computer Vision: Basic Principles. Proc. of IEEE, August 1988.
- [4] Klette R.: Expert systems - a modern software technology. In Yaroslavskii L.P., Rosenfeld A., Wilhelmi W., Computer Analysis of Images and Patterns, Akademie-Verlag, Berlin 1987.
- [5] Rodd M.G., Deravi F., Wu Q.M., Powrie J.: Knowledge-based computer vision systems for industrial control. Preprints of the 11th IFAC World Congress, Tallinn 1990.
- [6] Shapiro L.G.: The role of AI in Computer Vision. In Weisbin C.R. /ed./, AI Applications, IEEE Computer Society Press, 76-81, Washington 1985.
- [7] Palus H.: Inteligentne systemy wizji komputerowej w robotyce i elastycznych systemach produkcyjnych. W Kowalowski H. i in., Sztuczna inteligencja w robotyce i elastycznie automatyzowanej produkcji cz.2., Raport z pracy n.-b. G-610/RAul/91, 163-188, Gliwice 1991.
- [8] Shirai Y.: Three-Dimensional Computer Vision. Springer-Verlag, Berlin 1987.
- [9] Malec J.: Introduction to Knowledge Representation Problems. In Chmielewski L., Kosiński W. /eds./, Lecture Notes on Computer Vision and Artificial Intelligence, Ossolineum, 173-204, Wrocław 1990.
- [10] Post E.L.: Formal Reductions of the General Combinational Decision Problem. American Journal of Mathematics, 1943.
- [11] Baird M., Kelly M.: A paradigm for semantic picture recognition, Pattern Recognition, vol.6, 61-79, 1974.
- [12] Hayes-Roth F.: Rule-based systems. In Shapiro S.C., Eckroth D., /eds./, Encyclopedia of Artificial Intelligence, Wiley, 963-973, New York 1987.
- [13] Levine M.D., Nazif A.M.: Rule-Based Image Segmentation: A Dynamic Control Strategy Approach. CVGIP vol.32, 104-126, 1985.
- [14] Nazif A.M., Levine M.D.: Low-level Image Segmentation: an Expert System, IEEE Trans. PAMI, vol.6, 555-577, September 1984.
- [15] Venable S.F., Richter D.J., Wiedemann M.: A Ruled-based System for Improving on Image Segmentation. In Weisbin C.R. /ed./, AI Applications, IEEE Computer Society Press, 94-99, Washington 1985.
- [16] Ohta Y.: Knowledge-Based Interpretation of Outdoor Color Scenes. Morgan Kaufmann, Palo Alto, CA 1985.
- [17] McKeown D.M., Harvey W.A., McDermott J.: Rule Based Interpretation of Aerial Imagery. IEEE Trans. on PAMI vol.8, 570-585, September 1985.
- [18] Darwish A.M., Jain A.K.: A Rule Based Approach for Visual Pattern

- Inspection. IEEE Trans. on PAMI, vol.10, no.1, 56-68, January 1988.
- [19] Dainis G.A., Ward M.O.: Rule-based inspection of leadframes. Proc. CVPR'88, Ann Arbor, Michigan, IEEE Computer Society Press, 580-585, Washington 1988.
- [20] Petkovic D., Hinkle E.B.: A Rule-Based System for Verifying Engineering Specification in Industrial Visual Inspection Applications. IEEE Trans. on PAMI, vol.9, no.2, 1987.
- [21] Niblack W., Petkovic D., Damian D.: Experiments and Evaluations of Rule Based Methods in Image Analysis. Proc. CVPR'88, Ann Arbor, Michigan, IEEE Computer Society Press, 123-128, Washington 1988.
- [22] Bahrami A.: Designing Artificial Intelligence based Software. Sigma Press, Wilmslow 1988.

Recenzent: Prof. dr h. inż. Zdzisław Korzec
Wpłynęło do Redakcji do 1992-04-30.

Abstract:

Over the next few years the artificial intelligence, or more specifically: "image understanding" will be to affect users of computer vision systems. The development of these systems usually requires a great deal of knowledge. Section 1 presents the role of AI in computer vision systems and describes, based on an example from literature, differences between traditional computer vision system and intelligent computer vision system (other terms: knowledge-based vision system, vision expert system). Section 2 recollects one of the fundamental knowledge representation schemes: production rule. In Section 3, the existing rule-based systems in computer vision as well as rule-based segmentation and rule-based interpretation of scenes are reviewed. In Section 4, program that can recognize various simple geometrical shapes is described. This program employs the production system to represent the knowledge about different shapes. The user of the program makes simple line drawings to create various shapes and the program is able to recognize the scene. In the present version, program recognizes the following shapes: a single point, a horizontal line, a vertical line, a diagonal line, a triangle, a rectangle and a square. The adequate knowledge base about the shapes (6 rules) is presented. The program uses TurboProlog and runs on IBM PC/XT/AT or compatible computers. The results of work with the program suggest that it can be enlarged through the increase of the number of rules in the rule base.