

Henryk Kowalowski
Politechnika Śląska

W SPRAWIE METOD KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA DECYZJI
(SZTUCZNEJ INTELIGENCJI) W ROBOTYCE

Streszczenie. W pracy przeprowadzono analizę wybranych kierunków badań nad sztuczną inteligencją. Ograniczając się do problematyki dozbierania robota w "elementy zdrowego rozsądku", a więc bardziej określonych rodzajów sztucznej inteligencji niezbędnych do optymalizowanego wykorzystania informacji sensorycznych dla generowania decyzji. wyróżnia się badania w obszarze teorii gier, metod rozwiązywania problemów z wykorzystaniem języka naturalnego oraz w zakresie projektowania systemów ekspertowych.

1. Wprowadzenie

Naukowa fantastyka sygnalizowała już dosyć dawno możliwość budowy "maszyn myślących", a w szczególności robotów, ale jeszcze do połowy naszego stulecia autorzy wyjaśniali bardzo nieprecyzyjnie, jak roboty będą mogły przyswajać sobie zdolności rozumowania i jak będą mogły swój "rozum" wykorzystywać w działaniu. Radykalna zmiana poglądów w tym względzie nastąpiła wraz z pojawieniem się współczesnych systemów komputerowych i od prawie trzydziestu lat każdy robot pojawiający się na stronicach naukowo-fantastycznych publikacji miał już własny "mózg" komputerowy.

Problemy sztucznej inteligencji zaczęli badać uczeni, a obecnie ta dziedzina badań wyrosła jako samodzielna dyscyplina naukowa. wnosząca też swój wkład w konstrukcje robotów.

E.A. Feigenbaum [1] definiuje sztuczną inteligencję jako dziedzinę informatyki dotyczącą metod i technik wnioskowania symbolicznego przez komputer oraz symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania. Warto jednak podkreślić, że specjalistów zajmujących się sztuczną inteligencją mało interesowały techniczne środki realizacji i budowa nowych, bardziej zmyślnych rodzajów maszyn.

Większość badań koncentrowała się na projektach algorytmów i oprogramowania komputerowego, jakie mogłoby przemienić komputer w "rozumną maszynę".

Obecny etap badań nad sztuczną inteligencją można by najkrócej scharakteryzować jako okres prac ukierunkowanych na bezpośrednie

*/praca częściowo finansowana przez program RP.1.02, w temacie 4.1.

zastosowania. Penetrowane obszary badań przedstawia rys.1.

Artykuł, mając charakter studialny, klasyfikuje wybrane metody badań nad sztuczną inteligencją w zastosowaniu do robotyki i wysuwa też szereg wniosków w tym zakresie.

SZTUCZNA INTELIGENCJA

- rozwiązywanie problemów
- teoria gier
- dowodzenie twierdzeń
- przetwarzanie języka naturalnego
- systemy ekspertowe
- robotyka
- procesy percepcji
- uczenie maszynowe
- wyszukiwanie informacji
- programowanie automatyczne

Rys.1. Kierunki badań sztucznej inteligencji

Fig.1. Research trends in artificial intelligence

2. Intelpekt, inteligencja i badania sztucznej inteligencji w robotyce

Pojęcia "intelekt" i "inteligencja" nie są definiowane jednolicie w naukach, które te dziedziny kultywują. Jeśli jednak zgodzimy się, że "intelekt" przedstawia całościowy kształt wiedzy, doświadczeń i zdolności umysłowych człowieka, to "inteligencja" ma swoje znaczenie psychologiczne jako swoisty zespół zdolności umysłowych umożliwiających jednostce sprawne korzystanie z nabytej wiedzy i doświadczeń oraz skuteczne zachowywanie się w obecności nowych zadań i warunków życia; ma ona także rozliczne znaczenia socjologiczne.

Sztuczna inteligencja (zwana niekiedy inteligencją maszynową) jest więc współczesna dyscyplina informatyczna, której przedmiotem są metody komputerowego rozwiązywania problemów sposobami wzorowanymi na naturalnych działaniach, zachowaniach i procesach poznawczych człowieka. Poznanie procesów uczenia się i wykorzystywania wiedzy przez człowieka i rozwiązywania problemów decyzyjnych stanowi zasadniczą problematykę sztucznej inteligencji i jest punktem wyjścia do projektowania algorytmów i programów komputerowych, które imitują ludzkie zachowania i procesy poznawczo-decyzyjne. Przykładami zastosowań metod sztucznej inteligencji są: problemy rozpoznawania kształtów i scen, dźwięków, rozwiązywanie gier

uczenie pożądaných zachowań, dowodzenie twierdzeń, komponowanie muzyki, tłumaczenie języków naturalnych i wreszcie radzenie sobie ludzi i maszyn w nie w pełni zdeterminowanych warunkach działań.

Specjaliści z dziedziny sztucznej inteligencji napotykają wiele trudności w formułowaniu algorytmów i oprogramowania, które mogłyby przemienić system komputerowy w "rozumną" maszynę. Potoczne rozumienie słowa "inteligencja" jako coś, co ludzie demonstrują postępując sensownie, jest bardzo niejednoznaczne, a złożoność potęgują nasze własne, słabo sformalizowane wyobrażenia o źródłach intelektu. Jedni uznają, że intelekt prezentuje zdolności umysłowe, którymi ludzie są obdarowani w bardzo różnym stopniu i które można oceniać np. za pomocą testów sprawdzających stan rozwoju umysłowego. Wiele nie zgadza się z tym i dowodzi, że intelekt rozwija się (lub uzyskuje się) w procesie gromadzenia wiedzy i doświadczeń i że pojęcie intelektu ogarnia szereg własności i zdolności często luźno ze sobą powiązanych.

Inteligencja ogarnia niewątpliwie w swych obszarach procesy myślenia, przy czym różne rodzaje myślenia wymagają prawdopodobnie zróżnicowanego poziomu intelektu. Przyjmując na przykład, że najwyższy poziom przejawiania intelektu przedstawia zdolność zapamiętywania dużych zakresów informacji lub wykonywanie złożonych obliczeń, można by sądzić, że komputery są mądrzejsze od ludzi, bo przewyższają ludzi w tym względzie, przy czym oprogramowanie służące do rozwiązywania tego typu zadań nie wymaga nowych metod powiązanych z metodami sztucznej inteligencji. Taki rodzaj jeszcze "nieinteligentnego" myślenia charakteryzuje pierwsze pokolenia robotów przemysłowych, które mogą zapamiętywać określone kolejności procedur manipulacyjnych i wykonywać obliczenia wyznaczania sterowań i projektowania trajektorii niezbędne do wykonywania i kontroli prawidłowości i powtarzalności ruchów. Roboty takie nie mogą jednak reagować na nieprzewidziane sytuacje ani podejmować nawet trywialnych decyzji wyboru najlepszej drogi osiągnięcia założonych celów pozycjonowania.

Coraz większą rolę odgrywają zastosowania sztucznej inteligencji w robotyce podczas konstruowania robotów trzeciej generacji - "robotów inteligentnych", wyposażonych w możliwość kontaktów z otoczeniem oraz elastycznego sterowania (programy rozpoznawania obrazów, analizy mowy i scen, sterowania opartego o systemy ekspertowe i rozbudowane układy sensoryczne).

Bardziej inteligentne zachowanie się robotów wymaga opanowania dwóch nowych jakości: możliwości percepcji i uświadamiania sobie informacji o parametrach stanu otoczenia oraz przyswojenia sobie zdolności reagowania na zdarzenia i podejmowania decyzji, a więc radzenia sobie w sytuacjach niezdeterminowanych.

Kierunki badań w zakresie sztucznej inteligencji robotów obejmują z jednej strony problematykę wyposażenia robotów w środki percepcji otaczającego świata, a z drugiej - działania, których celem jest uzbrojenie robota w "elementy zdrowego rozsądku" niezbędne do optymalizacji

wykorzystywania informacji sensorycznych do generowania decyzji.

Ograniczając się do problemów wyposażenia robotów w elementy "zdrowego rozsądku" wyróżnia się przede wszystkim trzy kierunki badań inteligencji maszynowej robotów:

- w obszarach teorii gier,
- w obszarach metod rozwiązywania zadań z wykorzystaniem języka naturalnego oraz budowy na tej podstawie zestawów specjalnego rodzaju programów rozwiązywania problemów,
- w zakresie projektowania systemów ekspertowych.

Programy rozwiązywania problemów i blisko z nimi związane programy gier można wykorzystać w robotyce w postaci ogólnej; odpada wtedy konieczność nauczania robota kolejnych procedur manipulacyjnych.

Zdolność rozumienia języka naturalnego i wykorzystanie go do wymiany informacji i do generowania decyzji ma znaczenie szczególne w robotach wyposażonych w sensory słuchu i być może mogących mówić, co umożliwi kontakty z ludźmi bez specjalnego opanowania języków symbolicznych.

Badania w zakresie budowy systemów ekspertowych wykazały, że komputery mogą przyswoić sobie osobliwą formę intelektu - własności gromadzenia i kojarzenia wiedzy celem wyciągania wniosków i generowania decyzji w oparciu o algorytmy interpretujące wiedzę oraz banki wiedzy, analogicznie do ludzi korzystających z wiedzy specjalistów ekspertów. Notuje się pewne sukcesy np. w medycynie (umożliwienie lekarzowi stawiania optymalizowanych diagnoz) i w technice, np. przy poszukiwaniu rozwiązań o charakterze projektowym, a także w wielu innych obszarach działalności ludzi [2].

3. Badania w obszarach teorii gier

Badania rozwiązywania problemów w oparciu o metody gier matematycznych ukierunkowały pracę specjalistów informatyków jeszcze przed tym, gdy w połowie lat 50-tych John Mackarty z Uniwersytetu Stanford określił dziedzinę z tym związaną jako sztuczną inteligencję.

Zainteresowanie grami (przede wszystkim szachami) uzasadniały oceny, że maszynę umiejącą rozgrywać gry szachowe powinien cechować wysoki poziom inteligencji, bowiem na ogół uznaje się, że mistrzowie szachów są uosobieniem inteligencji. Inteligencja ujawnia się jednak podczas rozgrywek w dosyć ograniczonym zakresie, gdyż skierowuje się na rozwiązywanie zadań w pełni określonych. Zasady gry są bowiem ściśle zdeterminowane i można bez większych trudności poszukiwać i określać sposoby kodowania gry (położeń poszczególnych figur), które ma generować komputer. Optymalne ruchy komputer poszukuje i znajduje wyłącznie na podstawie "logicznego rozumowania" po przyswojeniu systemu identyfikacji bieżących położeń figur na szachownicy oraz na podstawie formalnych reguł przewidywania sytuacji, które mogą naturalnie występować w kolejnych ruchach. Komputerowe wspomaganie decyzji w przypadku szachów może więc bazować na algorytmie postępowania opartym na drzewie decyzyjnym.

Partię wygrywa gracz, który potrafi dłużej niż partner prowadzić

kolejne rozwiązania typu: "...jeśli ja zrobię ruch A, to on może odpowiedzieć ruchem B, C lub D; jeśli on odpowie ruchem C, to ja muszę wykonać ruch H, I lub J itd."

Teoretycznie można więc zbudować drzewo decyzyjne od stanu wyjściowego (od początkowego położenia figur) do końcowego węzła reprezentującego stan końcowy gry. W praktyce jednak budowa tego typu drzewa decyzyjnego przerasta możliwości każdego systemu komputerowego. Po stosunkowo niewielkiej liczbie ruchów drzewo decyzyjne rozrasta się do skali niesterowalnej, bo liczba możliwych pozycji na szachownicy, które mogą się pojawiać podczas rozgrywania partii, jest bardzo duża. Stąd wniosek, że przed dojściem do końcowych stanów gry programy rozgrywek nie będą mogły prognozować rozwoju partii o taką liczbę wyprzedzających ruchów, która umożliwiłaby odkrycie położenia gwarantującego sukces. W tej sytuacji samo posiadanie algorytmu opartego o analizę drzewa decyzyjnego jest niewystarczające. Wyjściem z tej sytuacji jest albo stosowanie środków ograniczających przedziały badanych (lub poszukiwanych) stanów, albo wprowadzenie dodatkowego zestawu reguł umożliwiających przyporządkowanie wartości zapowiadającym stanom, które określają węzły na peryferiach drzewa decyzyjnego albo też, jak to stosuje się w programach gier szachowych - wykorzystanie obu tych podejść (metody podziału i ograniczeń).

Niektóre podstawowe i względnie proste heurystyki można wprowadzać do programu w "gotowej postaci". Program, który wykorzystuje tylko takie uprzednio przygotowane reguły nie prowadzi jednak do sukcesów w grach, w których doświadczony przeciwnik szybko odkryje taką niezbyt złożoną logikę działań maszyny.

Bardziej interesujący aspekt rozbudowy programów gier łączy się z idea wykorzystania metod, które umożliwiają maszynie podczas gry dokonywanie przeglądu posiadanych heurystyk, doskonalenie ich, a nawet wynajdowanie nowych.

Pierwszym badaczem tych idei był amerykański uczone L. Samuel [3], który w latach 60-tych zaprezentował bardziej rozbudowany program gry w szachy. Znaczna złożoność metody Samuela ogranicza jej stosowanie w całym zakresie, lecz wszystkie współczesne programy gier są oparte o bardzo podobne zasady. Wyróżniającą osobliwością podejścia Samuela jest umożliwienie gromadzenia przez program swych własnych doświadczeń. Program uprzednio wyposażony w zestaw bazowych heurystyk, rozgrywa następnie szereg partii z dobrymi szachistami (tu warto podkreślić, że maszyna grająca z podobną maszyną nie może nauczyć się lepszych rozgrywek, skoro ma te same zestawy heurystyk, a rozwój gier jest określony). Jeśli maszyna przegra, to analizując przebieg partii ujawnia pozycje złe w świetle jej nowych doświadczeń - choć na podstawie posiadanych heurystyk oceniała je jako perspektywiczne. Gdy maszyna wygra (nawet mając położenia, które według tychże heurystyk oceniła jako słabe), to przegląda swe heurystyki wprowadzając niezbędne korekty.

Kolejne analizy rezultatów rozgrywanych partii - wygrywanych i przegrywanych - umożliwiają modyfikacje posiadanych heurystyk. Można je traktować teraz jako produkt własnych doświadczeń maszyny, gdyż różnią się

od uprzednio wprowadzonych heurystyk bazowych.

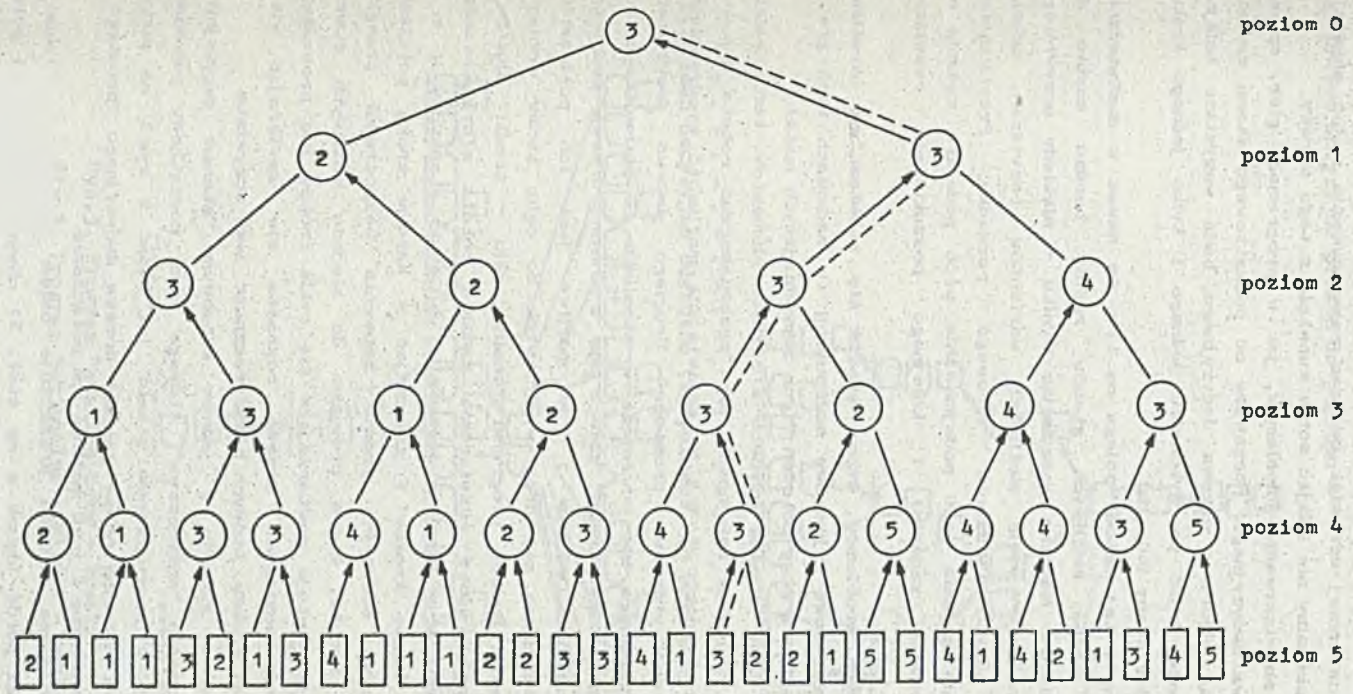
Nim jeszcze Samuel zaprezentował swoją metodę nauczania maszyn rozgrywania gier, w praktyce stosowano już jedną z podstawowych metod poszukiwań decyzji - minimaxową metodę drzewa decyzyjnego Claude Shannona. Minimaksowy algorytm decyzyjny rozwija się przy założeniu, że maszyna wykonując swój ruch dąży zawsze do maksymalizacji pozyskiwanych przez nią wyników, podczas gdy przeciwnik będzie starać się w każdym ruchu minimalizować punkty zdobywane przez maszynę [4].

Objaśniając procedury metody minimaksowej na przykładzie z rys.2 widać, że maszyna chcąc zdecydować o tym, który z dwóch ruchów będzie lepszy, dokonuje wstępnego przeglądu tyłu po sobie następujących kroków, na ile pozwalają jej zasoby obliczeniowe (w przykładzie do piątego poziomu). Wykorzystując posiadane heurystyki maszyna dokonuje następnie liczbowej oceny węzłów jedynie ostatniego poziomu, ignorując węzły wszystkich poziomów pośrednich, niezależnie czy dotyczą one ruchów własnych, czy posunięć przeciwnika. Przy założeniu, że maszyna robi najlepsze ruchy, przenosi ona maksymalne oceny liczbowe z każdej rozpatrywanej fazy 5 poziomu na wartościowany węzeł na poziomie 4. Następnie maszyna przenosi minimalne oceny każdej fazy poziomu 4 na poziom 3, zakładając, że przeciwnik stara się zawsze minimalizować jej potencjalne punkty. Minimaksowe procedury są przeprowadzane dopóty, dopóki ruchy odwrotne nie osiągną 1 poziomu. Najlepszą kolejność ruchów wyznacza linia przerywana łącząca poziom 5 z 1 wzdłuż ocen "3". Operacje "odwrotnego trasowania" według procedury minimaksowej są bardzo czasochłonne nawet dla szybkich systemów komputerowych, gdyż wymagają kolejnych przeglądów każdej gałęzi drzewa decyzyjnego. Dlatego poszukuje się sposobów przyspieszenia poszczególnych procedur przeszukiwań (np. procedura "alfa-beta").

Rezultaty badań w zakresie teorii gier jako dziedziny sztucznej inteligencji zostały zweryfikowane produkcją maszyn rozgrywających partie z różnym stopniem mistrzostwa. Dalej jednak panuje uzasadniona opinia, że inteligencja komputera i szachisty - człowieka to bardzo różne zjawiska, o czym sygnalizują też zwierzenia arcymistrzów rozgrywających partie z maszynami. Myślenie człowieka, jego motywacje, strategia i taktyka gier poddając się tajemniczej intuicji przewyższają subtelnością wprawdzie ścisłą, lecz ograniczoną logikę, której reguły opanowała maszyna.

4. Badania w obszarach metod rozwiązywania problemów

Ludzie rozwiązują codziennie zadania o znacznym stopniu zróżnicowaniu ze względu na treść i stopień złożoności. Mogą to być zadania o charakterze aplikacyjnym i dotyczyć np. efektywnego wykorzystywania posiadanych zasobów, zadania typu organizatorskiego, realizacji procesów produkcji oraz wiele innych, wynikających ze stosunków międzyludzkich. Problematyka zadań, które obecnie są rozwiązywane za pomocą sztucznej inteligencji, w wielu przypadkach jest z ludzkiego punktu widzenia bardzo elementarna. Jednak



Rys.2. Przykład objaśniający metodę minimaxową C. Shannona
 Fig.2. An example explaining the minimax method of C. Shannon.

najczęściej te zadania nie poddają się rozwiązaniu poznanymi metodami programowania i najwidoczniej człowiek podczas rozwiązywania zadań angażuje znaczny wysiłek intelektualny nie zdając sobie zupełnie z tego sprawy.

Jedną z metod rozwiązywania problemów, jak w programach gier, opiera się na analizie drzewa decyzyjnego. Począwszy od początkowego stanu zadania maszyna, wykorzystując algorytm drzewa decyzyjnego, bada wszystkie kolejne stany, do których może dojść po wykonaniu jednego i tylko jednego kroku, potem wszystkie kolejne stany itd., itd.

Znana już trudność tej metody polega na tym, że nawet w dostatecznie prostych zadaniach liczba możliwych stanów rośnie bardzo szybko do niesterowalnych rozmiarów. Maszyna poszukując wyniku - niekiedy oczywistego dla człowieka - analizuje wiele możliwych wariantów rozwiązań, często niedorzecznych z punktu widzenia zdrowego rozsądku. Przybliżeniem poszukiwań rozwiązania zadania jest podejmowanie prób podziału zadania na podzadania (dekompozycja zadania) i kolejnego poszukiwania rozwiązań każdego z podzadań.

Wiele praktycznych problemów, które stawia się robotom, ma określone precyzyjnie stany początkowe i końcowe manipulacji (w zadaniach typu gra w szachy nie można określić z góry położeń figur zapewniających mata).

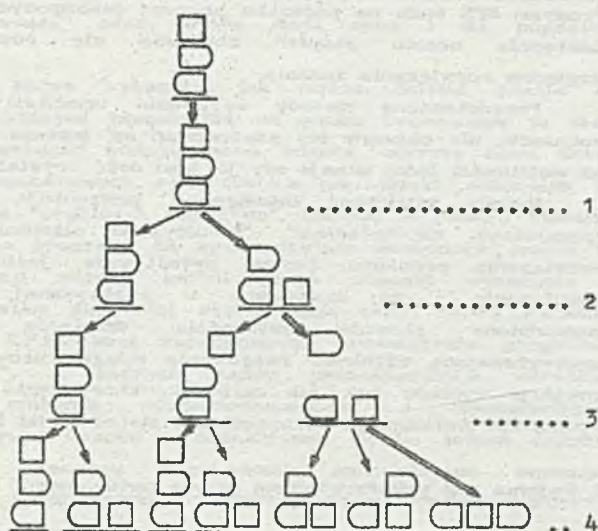
W zadaniach np. typu "montaż wyrobów z różnych elementów, które należy ułożyć w innej niż wyjściowa kolejności" lub "przemieszczać robota z punktu A do Z przez określone punkty C, B i Y" pojawia się możliwość wyodrębnienia z całego zadania, obok "drzewa prostego", drugiego drzewa decyzyjnego rosnącego i rozgałęziającego się odwrotnie w stosunku do pierwotnego. Gdy jeden z węzłów "drzewa odwrotnego" zbiega się z innym "drzewa prostego" (mając te same wartości węzłów i gdy możliwe jest ich połączenie) otrzymujemy stan przecięcia się dróg wyjściowych do celu, który wyznacza poszukiwane rozwiązanie. Budowę programu "analiza celu - środki" ilustruje rys.3, wyjaśniający przykładowe rozwiązanie zadania robota sformułowanego tak: jak zmienić konstrukcję wieży z klocków a, b, c do struktury a, c, b wykonując minimalną liczbę kroków i zmieniając w każdym kroku położenie jednego klocka. Drzewo decyzyjne proste zapewnia bezpośredni przegląd pierwszych czterech kroków, które prowadzą do siedmiu możliwych stanów (lewa część drzewa prezentuje powtarzające się cykle kroków nie prowadzące do celu). Na dolnych poziomach drzewo rozrasta się zawierając wiele następujących po sobie kroków, których bezużyteczność jest oczywista.

Osiągnięcie celu w zadaniu z jednym końcowym "stanem decyzyjnym" skraca się po zbudowaniu "antydrzewa", którego stan początkowy odpowiada położeniu konstrukcji w poszukiwanym stanie. Jak widać z rys.3, na piątym poziomie "antydrzewa" skrajne prawe gałęzie drzewa decyzyjnego "prostego" i "odwrotnego" są identyczne i jest możliwe ich połączenie.

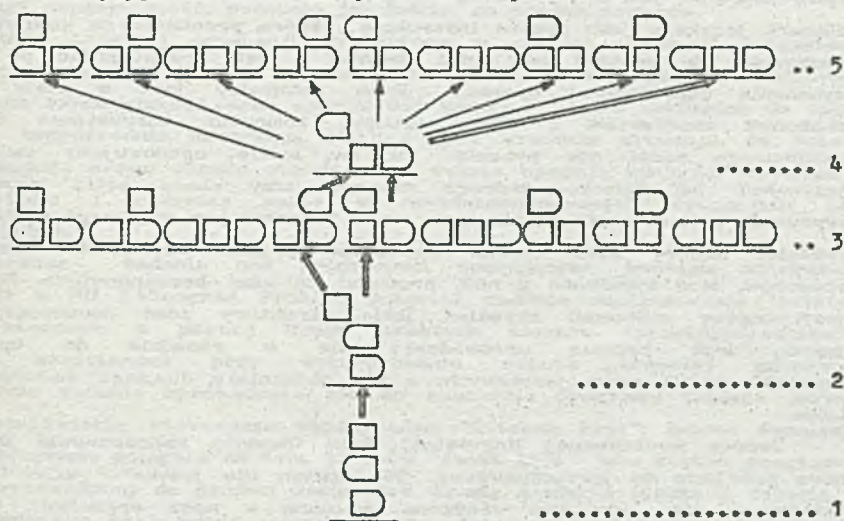
Optymalne rozwiązanie zadania prezentuje osiem kolejnych manipulacji: 1) chwyć klocek a, 2) połóż klocek a na stół, 3) chwyć klocek b, 4) połóż klocek b na stół, 5) chwyć klocek c, 6) połóż klocek c na b, 7) chwyć klocek a, 8) połóż klocek a na c.

Bardziej znane programy, wykorzystujące procedury "analiza celu -

a) Drzewo decyzyjne proste do poziomu 4



b) Drzewo decyzyjne odwrotne (antydrzewo) do poziomu 5



Rys.3. Program "analiza celu - środki".

Fig.3. Program "objective analysis - means".

środki", to programy STRIPS oraz GPS [5], które między innymi weryfikowano do sterowania robota błądzącego w labiryncie i poszukującego wyjścia. Program GPS bada na początku procesy dekompozycji problemu na podzadania, a następnie ocenia stopień zbliżania się rozwiązań kolejnych podzadań względem rozwiązania zadania.

Przedstawione metody wprawdzie umożliwiły już osiągnięcie pewnych sukcesów, ale obszary ich zastosowań są jeszcze bardzo ograniczone. Z uwagi na możliwości ludzi uznaje się je jako dość trywialne.

Metody sztucznej inteligencji prezentują się tu, w porównaniu z "przelotnym natchnieniem", "intuicyjnym olśnieniem" prowadzącym ludzi do rozwiązania problemu, bardzo prymitywnie. Jeśli mimo to dają racjonalne rozwiązania i są stosowane w praktycznej działalności, to jest to uzasadnione głównie szybkością działania komputerów, wielokrotnie przewyższającą szybkość reagowania mózgu człowieka. Komputer zresztą nie znajduje wyników tak jak człowiek, który może dochodzić do tego samego wyniku bez świadomego wykorzystania metod logiki formalnej.

5. Badania nad wykorzystaniem języka naturalnego

Języki algorytmiczne wyższych rzędów, za pomocą których dokonuje się przekaz informacji między komputerem a człowiekiem, można, jak wiadomo, tylko umownie nazwać językami. Komputer traktuje słowa GO TO nie jako element języka, a jako prostą instrukcję, która przekształca wewnętrzny kod maszynowy do postaci kolejności jedynek i zer, przystępując po tym do wykonania odpowiedniej operacji. Język naturalny jest o wiele bardziej złożonym artefaktem i chcąc nauczyć komputer korzystania z języka naturalnego rodzi się pytanie: jak my, ludzie, opanowujemy umiejętności językowe? Jak dziecko, którego słownik liczy około setki słów buduje poprawnie gramatycznie zdania (przy czym pozornie bez większego wysiłku)? Przecież zbiory słów można zestawiać prawie na nieskończenie wiele sposobów, lecz większość z nich prowadzi do zdań bezsensownych. Początkowo językoznawcy próbowali określać, jakie struktury zdań dopuszczają różne języki, lecz badania sprowadzały się w zasadzie do opisu już ukształtowanych norm językowych, a nie objaśniały, dlaczego są one właśnie takie.

Twórca nowoczesnej lingwistyki, Noam Chomsky, zaproponował zasadniczo nowe podejście do językoznawstwa. "Nie uczymy się języka" - mówi Chomsky - "wiedza o nim jest nam wrodzona, wpisana w nasz organizm". Od czasu rewolucji Chomsky'ego lingwistyka stała się samodzielną, niezależną gałęzią nauki. Jej celem jest odkrywanie uniwersalnych reguł językowych. Najnowsze, najśmielsze twierdzenie Chomsky'ego zawiera tezę, że dzieci nie uczą się mówić od dorosłych: "Dzieci umieją mówić tak, jak umieją patrzeć, lub tak jak ptak umie latać". Dorosły tylko dostarcza dzieciom pewnych bodźców, ukierunkowuje dziecko ku jednemu z języków w wytyczonych ramach uniwersalnej gramatyki [6].

Z punktu widzenia potrzeb sztucznej inteligencji ważność badań

Chomsky'ego wynika stąd, że przedstawił on zbiór formalnych reguł logicznych (tzw. reguł rodzenia), które - jak zakłada - charakteryzują już od poczęcia mózg człowieka. Właśnie te reguły "rodzenia" umożliwiają "przetwarzanie" i "generowanie" zdań, które mają sens i są poprawne gramatycznie.

Badania Chomsky'ego, które wykazały, jak można dzielić zdania na logiczne "bloki - moduły", którymi niezależnie od sensu tworzących je słów można manipulować i przekształcać budując nowe zdania, odkryły nową drogę zestawiania programów komputerowych, wykorzystujących języki naturalne do operowania nimi na poziomie "głębokich struktur". Chociaż z punktu widzenia syntaktyki i gramatyki takie programy są wystarczająco doskonałe, jednak na poziomie wymiany informacji między ludźmi język stanowi wyrażenie w kategorii semantycznej, bowiem dla ludzi słowa mają sens, skoro wyrażają rzeczywistość. R.Schenk i R.P.Elbelson zaproponowali wyposażenie programów w specjalne "scenariusze", z których każdy charakteryzuje określoną sytuację umożliwiającą unikanie niejednoznaczności i bezsensownych odpowiedzi programu. Algorytmy oparte o scenariusze są to jednak czasowe pallatywy pomagające w szeregu przypadkach zadawalająco obchodzić podstawowy problem, jak w ogóle komputer może rozpoznać, "o co chodzi" w takim sensie, jak rozumie to człowiek.

Robotyka otwiera nową drogę, która umożliwia obchodzenie tych problemów. Roboty mogą bowiem w określonym stopniu przyswajając sobie otaczającą rzeczywistość, podobnie jak ludzie, za pomocą zmysłów.

Roboty trzeciej generacji wyposażone w organy percepcji - systemy sensoryczne wzroku, dotyku, słuchu i inne mogą "postrzegać" i "odczuwać" otaczającą rzeczywistość oraz opanowywać słowa i zdania niezbędne do opisu tego, co bezpośrednio obserwują. Możliwa jest wreszcie sytuacja, że roboty po zbudowaniu swego obrazu otaczającego świata opanują zdolność mówienia o tym świecie i radzenia sobie w niezdeterminowanych sytuacjach tam występujących.

Pierwsze badania nad programami operującymi językiem naturalnym prowadził w MII T.Winograd. Problem dotyczył zadania manipulowania "światem brył", złożonym z pewnej liczby prostych klocków (prostokątów, sześcianów, piramid, sześcianów) przy wykorzystaniu robota trzeciej generacji. Rozwiązanie zadania sprowadzało się do nauczenia programu takiego języka, który umożliwiłby sterowanie wspomnianym "światem brył". Istota wynalazku twórcy programu polegała na tym, że cały "świat brył" jako zestaw programów został wprowadzony do pamięci komputera. Znana a priori wiedza o świecie, o którym program miał mówić, umożliwiła w efekcie - w korelacji z systemem sensorycznym - zdolność prowadzenia dialogu o "świecie brył" oraz o własnych manipulacjach w tym "świecie" z uwzględnieniem najbardziej subtelnych szczegółów. Oczywiście, nadal pozostało bez odpowiedzi pytanie, czy i w jakim stopniu można idee T.Winograda zastosować do rozwiązywania zadań w świecie rzeczywistym, pełnym niespodzianek, a także do przyswajania wszystkich subtelności właściwych ludziom wykonującym podobne zadania.

Zbliżanie się robototechniki do opanowania zadań rzeczywistych, które

swoją drogą zależą od projektów doskonalszych urządzeń sensorycznych i systemów komputerowych, umożliwi być może sprecyzowanie odpowiedzi na pytanie: czy ma rację Chomsky, który zakłada, że umiejętności operowania "głębokimi strukturami" języka są człowiekowi przyrodzone, czy mają rację jego oponenti twierdzący, że umiejętności posługiwania się mową przyswajają sobie ludzie w dzieciństwie.

Rozwiązanie tego sporu będzie mało następstwa zarówno w sferze psychologii, jak i robotyce. Jeśli okaże się, że ludzie nie uczą się języka "od zera", to zdolności robotów w opanowywaniu mowy będą ograniczone do czasu, gdy sami nie zrozumiemy do końca "programu posługiwania się językiem", który od poczęcia jest "wbudowany" w nasz mózg. Gdy natomiast okaże się, że robot potrafi bez takiego "programu" przyswoić sobie język naturalny - choćby na elementarnym poziomie - będzie tym samym rozwiązana jedna z kluczowych zagadek psychologii.

Trudności, jakie napotykają badacze sztucznej inteligencji, starając się przenosić i adaptować do ograniczonych obszarów świata rzeczywistego metody opisu i sterowania prymitywnym "światem brył" lub "światem szachów", polegają nie tylko na tym, że nasz leksykon jest o wiele bogatszy od ograniczonego słownictwa wykorzystywanego w programach opartych na scenariuszach. Trudności również wynikają z faktu, że złożoność rzeczywistych problemów rodzi nieskończenie wielką liczbą kombinacji czynników określających elementy świata rzeczywistego z potencjalnymi możliwościami wykorzystywania słów języka naturalnego.

Warto zauważyć, że te trudności, zwane niekiedy "eksplozją kombinatoryczną", ograniczają bardzo wydatnie możliwości sztucznej inteligencji wcale nie w takich dziedzinach, jak gra w szachy, która jak się uważa, wymaga wysokiego intelektu - ale tam, gdzie zwykle wątpi się, czy w ogóle potrzebny jest taki intelekt. Być może problem wiąże się z nierozumieniem przyczyn tego, dlaczego eksplozja kombinatoryczna nie sprawia ludziom żadnych trudności, gdy trzeba np. rozsortować stertę nieuporządkowanych wielu przedmiotów, zrozumieć przekazywane przez radcę opowiadanie oraz wykonywać i rozwiązywać wiele, wiele innych, codziennie napotykaných zadań.

Jedno jest chyba całkiem jasne. We wszystkich tych przypadkach ludzie nie korzystają ze sformalizowanych algorytmów, z jakich korzysta sztuczna inteligencja. Jest wielce prawdopodobne, że roboty w ogóle nie dorównają ludzkiemu mistrzostwu działań w wielu obszarach, chyba że uda się wynaleźć jakieś nowe podejście do doskonalenia "maszynowego rozumu". Nowy program japońskiej Agencji Nauki i Techniki dotyczący rozwoju komputerów szóstej generacji oparto na badaniach podstawowych w dziedzinach filozofii, psychologii, logiki i lingwistyki, prowadzonych pod kątem systemów komputerowych, które powinny myśleć i mówić podobnie jak człowiek.

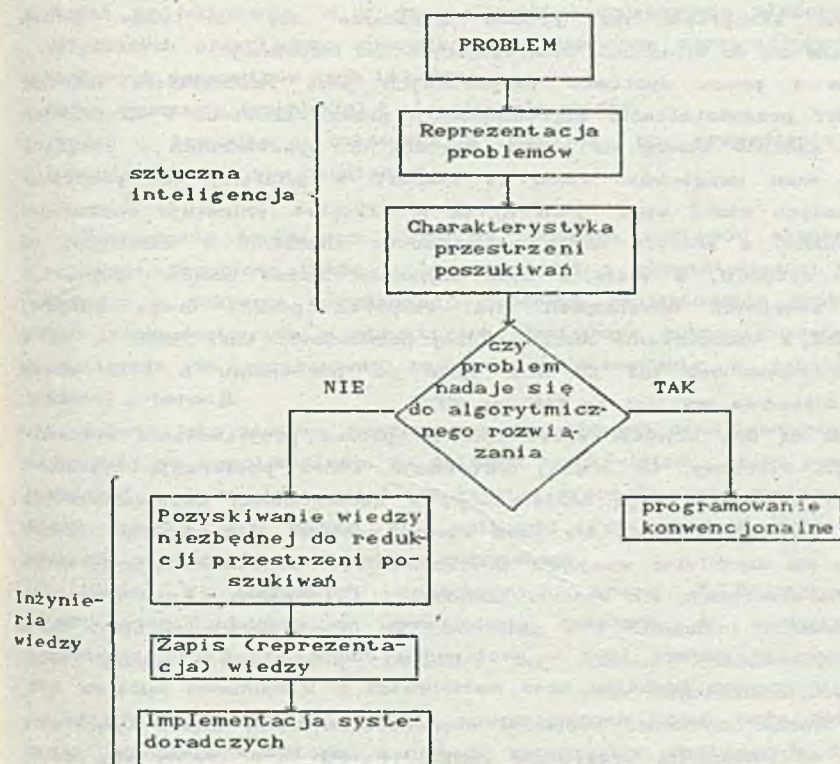
6. Badania w zakresie systemów ekspertowych (doradczych). Inżynieria wiedzy

Rozwiązywanie wielu problemów, jakie rodzi eksplozja kombinatoryczna

ostatnich latach (np. projektowanie i sterowanie zintegrowanych systemów produkcji), skierowały prace badaczy nad sztuczną inteligencją w nowym kierunku, który nazwano inżynierią wiedzy (ang. knowledge engineering). Inżynieria wiedzy jest dziedziną poszukiwań metod programowania obejmujących:

- pozyskiwanie i strukturyzację wiedzy pochodzącej od ekspertów,
- dopasowanie i wybór odpowiednich technik wnioskowania i wyjaśniania dla zagadnień rozwiązywania problemów,
- projektowanie układów pośredniczących (interfejsów) między użytkownikiem a komputerem.

Na przykładzie systemów ekspertowych obserwuje się wyraźne odchodzenie od prób tworzenia systemów sztucznej inteligencji przeznaczonych do rozwiązywania zadań o charakterze jak najbardziej ogólnym (tendencja reprezentowania rozwoju programu GPS) i podejmowanie prób tworzenia systemów o dużym stopniu specjalizacji, a zarazem uwzględniających w swoim działaniu wszechstronną wiedzę określonej dziedziny. Rozwój metod sztucznej inteligencji ukierunkowanych na wykorzystywanie programowania konwencjonalnego oraz systemów ekspertowych wyjaśnia schematycznie rys.4.



Rys.4. Programowanie konwencjonalne i systemy ekspertowe w metodach sztucznej inteligencji [2]

Fig.4. Conventional programming and expert systems in methods of artificial intelligence

Według E.Feigenbauma [1], przez pojęcie systemu doradczego rozumie się program wykorzystujący wiedzę i procedury rozumowania dla wspomagania rozwiązań problemów na tyle trudnych, że do ich rozwiązywania wymagana jest pomoc (wiedza ekspertów). Program taki może być traktowany jako model (reprezentacja) wiedzy najlepszych praktyków w rozpatrywanej dziedzinie. Na jakość systemu doradczego wpływają baza wiedzy i mechanizm rozumowania.

System działając jako ekspert powinien posiadać: zdolność zadawania pytań w celu uzyskania odpowiedniej informacji o użytkowniku, umiejętność wyjaśniania drogi swego rozumowania, gdy zażąda tego użytkownik, możliwość uzasadniania otrzymanych konkluzji i modyfikowania sposobu wykonywania zadań.

Rosnące zainteresowanie systemami ekspertowymi wynika z tego, że ich stosowanie to nie tylko korzystanie z banków wiedzy, ale też z systemów odtwarzających struktury wiedzy, wyposażonych w niezbędne środki logicznych powiązań i wnioskowania, a także w swego rodzaju intencje - a więc wszystko to, czym dysponuje ekspert rozwiązujący określone zadanie. Obsługa z systemami ekspertowymi przypomina więc w większym stopniu konsultacje z rzeczywistym ekspertem niż proste zwracanie się do bazy danych sprowadzające się do wybierania interesujących nas informacji.

Budowa i praca systemów ekspertowych jest rzeczywiście istotnie złożona, gdyż przekształcanie nagromadzonych przez człowieka w określonych dziedzinach zasobów wiedzy na postać dogodną do wprowadzenia w programy ekspertowe musi uwzględniać fakt, że ekspert w działaniu nie postępuje według prostych zasad typu "jeśli A, to B". Ekspert wnioskuje rozważając wiele czynników, z których każdy ma stosowne znaczenie w zależności od konkretnych sytuacji, a wiele z tych czynników można oceniać jedynie w kontekście zebranych doświadczeń. Myśl eksperta podąża drogą bardziej skomplikowaną, a wnioskowanie można raczej przedstawić tak: "jeśli A, to B bardziej prawdopodobne niż C, lecz tylko po porównaniu D i E można powiedzieć dokładnie, czy jest to TAK, czy NIE".

Istotne są dwa czynniki wpływające na proces projektowania systemów ekspertowych. Pierwszy, to rodzaj informacji, którą powierzają systemowi ludzie-eksperci, często drogą ankietyzacji, w szczególności zaś całokształt materiałów, na który składa się baza wiedzy systemu ekspertowego. Postać bazy wiedzy ma umożliwić wzajemne powiązanie twierdzeń implikacjami, które wyraźnie charakteryzują ich związki. Zależności te formułuje się w ramach pewnych systemów logicznych i w zależności od dziedziny wiedzy mamy także sposoby reprezentacji wiedzy, jak rachunek predykatów, reguły sieci semantycznych, scenariusze, ramy.

Drugą ważną osobliwość systemów ekspertowych łączy się z tym, że w odróżnieniu od większości programów komputerowych baza wiedzy (t.j. część programu zawierająca reprezentację wiedzy) jest oddzielona od programu, który steruje manipulacjami wiedzą. Interpretator wiedzy swoją drogą dzieli się na system logicznego wnioskowania, który dokonuje dyskretnego sterowania "tatyka rozwiązywania zadań", oraz na system koordynujący, który

realizuje kontrolę "strategii" rozwiązań.

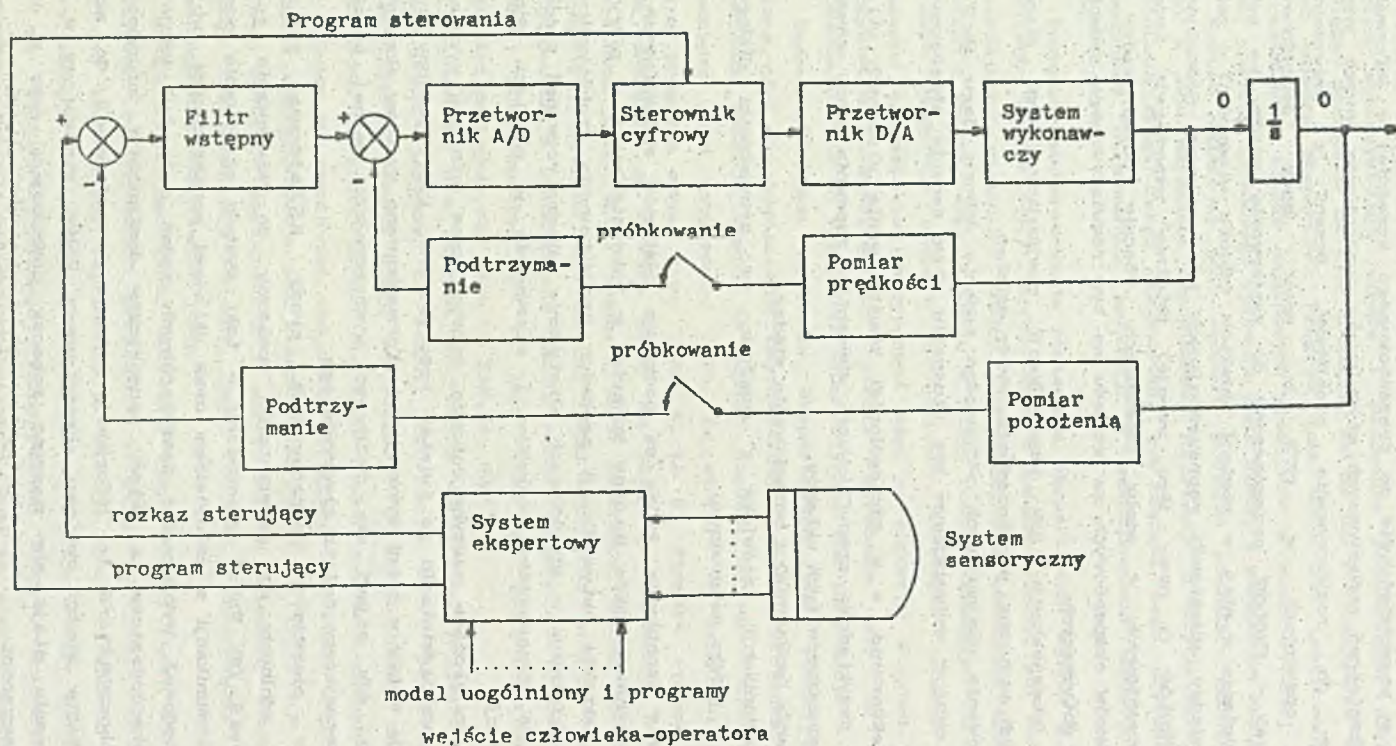
Badania sztucznej inteligencji ukierunkowane na przekształcenia typu symbolicznego, w przeciwieństwie do prezentowanego wcześniej w informatyce kierunku przekształceń numerycznych, stymulowały opracowanie nowych języków przeznaczonych do rozwiązywania problemów. Uчени z Uniwersytetu Marsylijskiego opracowali w 1973 r. nowy język specyfikacyjny (ang. declarative) - PROLOG, przeznaczony do zapisywania wiedzy na pewien temat i korzystania z niej, w postaci obiektów (zbioru własności) i relacji (powiązań pomiędzy obiektami) reprezentujących ich wzajemne oddziaływania [10]. Język PROLOG (i nowe jego wersje) istotnie wspomagają twórców systemów ekspertowych w wielu dziedzinach. Obecnie przeprowadza się podziały systemów ekspertowych ze względu na typ rozwiązywanego zadania w pięciu klasach dotyczących:

- zadań interpretacji lub identyfikacji obejmujących np. diagnozę techniczną lub medyczną, prognozowanie, wybór działań,
- zadań planowania obejmujących różnorodne zadania doboru ciągu akcji dla osiągnięcia celu w zmieniającym się otoczeniu oraz zadania programowania komputerów,
- zadań projektowania, a w szczególności kompletowania złożonych układów dotyczących przykładowo specyfikowania elementów zapewniających uzyskanie złożonych parametrów tych układów,
- zadań nauczania (szkolenia) i pozyskiwania wiedzy,
- zadań komunikacji człowieka z maszyną, np. prowadzenia dialogu z komputerem w języku naturalnym.

Rozwiązania techniczne, które są podstawą systemów ekspertowych, jak się wydaje, przyniosą także istotne korzyści w robototechnice; w pierwszej kolejności w zakresie optymalizacji procedur projektowania zrobotyzowanych gniazd technologicznych w strukturach elastycznie automatyzowanej produkcji, a następnie do generowania rozkazów i sterowania w robotach dopiero trzeciej generacji.

Roboty, jako złożone maszyny robocze, których sens istnienia wyraża się najmocniej we współdziałaniu ze światem rzeczywistym, który powinny dobrze rozpoznać, będą mogły w pełni wykorzystać sformalizowane systemy ekspertowe wtedy dopiero, gdy pojawi się możliwość wystarczająco pełnej percepcji szczegółów otaczającego świata rzeczywistego.

Jeden z pierwszych opracowanych przez N.S. Rajarama systemów ekspertowych, zdolnych do generowania rozkazów do sterowania robotem przedstawia rys.5. [8]. Robot wyposażony w taki system sterowania posiada dwa wejścia: komunikacji z człowiekiem oraz układami sensorycznymi (wyjścia na układy napędowe). Wykonywanie poszczególnych zadań może być inicjowane przez człowieka-operatora, a układy sensoryczne dostarczają informacji o środowisku roboczym, która to informacja wymaga transformacji do modelu otoczenia w bazie wiedzy systemu ekspertowego. Robot wyposażony w taki system sterowania staje się maszyną roboczą poszukującą celu z dużym stopniem elastyczności.



Rys.5. System ekspertowy wydawania rozkazów i sterowań robota III generacji elastycznie poszukującego cele manipulacji (wg N.S. Rajarama).

Fig.5. Expert system for command and control design in the third generation robot flexibly searching for manipulation objectives.

7. Wniosek końcowy

Coraz bardziej widoczny stał się sens podejmowania dalszych prac nad budową "maszyn myślących"- robotów, rozwiązujących swe problemy także na podobieństwo ludzi, specjalistów - ekspertów. Zasluguja na podziw wszystkie śmiałe działania badaczy i twórców "maszyn inteligentnych", które często dorównują ludziom zmysłowością i pomysłowością, a nawet przewyższają możliwości ludzi niezależnie od tego, że wywołują one mieszane uczucia zachwytu, a równocześnie niepokoju...

LITERATURA

- [1] Feigenbaum E.A.: The Art of Artificial Intelligence, Themes and Case Studies in Knowledge Engineering. Proc. of the 5-th IJCAI, 1977.
- [2] Cholewa W., Pedrycz W.: Systemy doradcze. Skrypty Uczelniane Politechniki Śląskiej, nr 1447, Gliwice 1987.
- [3] Samuel A.L.: Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. IBM-J of Research and Development 3, 1959, pp.211-229.
- [4] Kowalowski H. i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [5] Newell A., Simon H.A.: General Problem Solver - a Program that Simulates Human Thought. Computers and Thought, McGraw - Hill New York 1963.
- [6] Sorman G.: Poglądy. Przedruk z Le Figaro Magazine 1989-03-13 zam. w Forum nr 20, 1989.
- [7] Souček B., Souček M.: Neural and Massively Parallel Computers. The 6-th Generation, John Wiley, New York 1988.
- [8] Rajaram N.S.: Design of Intelligent Systems with Cooperating Knowledge Based Components. In Proceedings of Trends and Applications: Automating Intelligent Behavior, Applications and Frontiers, IEEE, New York 1983.
- [9] Gurfinkel W.S. (red.) Marsh P. i inni: Robots. Salamander Books London 1985, (tłum. z ang.), Wyd. Mir 1987.
- [10] Clockin W.F., Mellish C.S.: Programming in PROLOG. Springer Verlag, Berlin 1984.

Recenzent: Prof.dr h.inż.A.Woźniak

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

ON THE COMPUTER-AIDED DECISION MAKING METHODS (ARTIFICIAL INTELLIGENCE) IN ROBOTICS

S u m m a r y

An analysis of the selected trends of research into the problems of artificial intelligence is presented in the paper. Being limited to the range of problems concerning equipping a robot with the elements of "common sense", i.e. the domains of artificial intelligence concerning optimized application of sensoric information in decision making, one can distinguish

the research within the domain of theory of games, problem solving methods applying natural language and expert systems design.

ПО ТЕМЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ВСПОМОГАНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ (ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА) В РОБОТИКЕ

Резюме

В статье дан анализ избранных направлений исследований искусственного интеллекта. Ограничиваясь к проблематике дооборудования робота в элемент "здорового смысла", т.е. элементами таких определенных видов искусственного интеллекта необходимых для оптимизированного использования информации получаемой от сенсорных датчиков для решения, представляются исследования в отрасли теории игр, методов решения проблем с использованием естественного языка а также в отрасли проектирования экспертных систем.