

Henryk Kowalowski  
Politechnika Łaska

PROBLEMY NAUKOWO-BADAWCZE UKIERUNKOWANE NA AUTOMATYZACJĘ SYSTEMÓW  
WYPRACOWANIA DECYZJI ADAPTACYJNYCH ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. Rozważa się najważniejsze problemy naukowo-badawcze, których rozwiązanie rzutują bezpośrednio na uciążliwą aplikację robotów przemysłowych do elastycznej automatyzacji manipulacji w dyskretnych procesach przemysłowych. Rozpatrywane problemy dotyczą procesów operacyjnych oraz rozpoznawania obrazów i wypracowania decyzji w podsystemach układów chwytakowych, kinematycznych, napędowych oraz sterowania systemu robota przemysłowego.

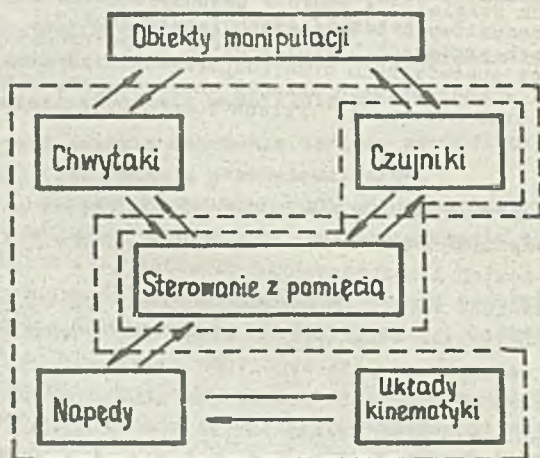
1. Obszerny materiał związany z problematyką sztucznej inteligencji oraz jej zastosowaniami /w szczególności z dziedziny modelowania zachowania się istot żywych i rozpoznawania obrazów/ jest rozproszony w różnych czasopiśmie, raportach z konferencji, monografiach prezentujących wyniki konkretnych badań oraz w podręcznikach opisujących szczególne podejścia do rozwiązywania tego typu zadań. Nie ma przy tym jednolitego metodycznego podejścia do syntezy wyższych poziomów elastycznych systemów sterowania zachowaniem się adaptacyjnych robotów. Sztuczna inteligencja robotów jest ciągle obiektem intensywnych badań naukowych.

Poziom rozwoju "intelektu" współczesnych robotów przemysłowych jest jeszcze względnie niski, chociaż zbudowano już w świecie nie małą liczbę robotów inteligentnych spełniających przeróżne złożone funkcje intelektualne [1]. Są one zdolne do rozpoznawania złożonych kształtów i klasyfikacji złożonych sytuacji, a ich elastyczny system sterowania /oprogramowanie i sprzęt/ zapewne właśnie unięjętności radzenia sobie w sytuacjach zawierających elementy nieokreśloności i nowości. Gwarantuje to dużą moc obliczeniową współczesnych systemów mikrokomputerowych oraz wyposażenie systemów czujnikowania w rozliczne typy przetworników dotykowych i bezstykowych. Roboty inteligentne wykonują najczęściej określone celowe działania w ograniczonym rzeczywistym otoczeniu zewnętrznym, ale można sądzić, że coraz bardziej zblizamy się do rozwiązania problemów budowy pokolenia rozumnnych uniwersalnych robotów do przemysłowych zastosowań np. w branżach zakładowych wytwórczych.

2. Problemy naukowe jakie rodzą zadania budowy i użytkowania współczesnych adaptacyjnych robotów przemysłowych przydatnych do elastycznej

automatyzacji wynikają z konieczności opanowania trzech podstawowych procesów warunkujących ich poprawną pracę. Są to procesy operacyjne, rozpoznawania i wypracowania decyzji.

Nawiązując do rysunku 1 systemu urządzeniowego robota przemysłowego [2] motoryczne procesy operacyjne /realizowane w podsystemach układów kinematycznych, napędowych, chwytakowych i odczuwania/ postrzegają i zmieniają świat, umożliwiając bezpośrednie współdziałanie robota z otoczeniem.



Rys. 1. System urządzeniowy robota przemysłowego tworzący podsystemy operacyjny, rozpoznawania i decyzyjny

Procesy rozpoznawania zapewniają bezpośrednie współdziałanie robota z modelem świata, który przedstawia sobą częściowy opis świata robota. Analogiem motorycznym procesów operacyjnych, będą w procesach rozpoznawania zmieniające model świata procesy manipulacji na symbolach, a analogiem procesów odczuwania będą procesy przypomnienia sobie.

Procesy wypracowania decyzji zapewniają współdziałanie systemu urządzeniowego robota ze zbiorem celów manipulacji rozumianych jako częściowe oceny modeli świata. Procesy decyzyjne zapewniają zarówno generowanie nowych jak i przypomnienie starych celów.

System robota składa się więc z trzech współdziałających ze sobą podsystemów, z których podsystem decyzyjny wypracowuje sygnały celów, a podsystemy rozpoznawania i operacyjny współpracują zgodnie, aby te cele osiągnąć.

3. Wyróżniającą robotę rozumnego osobliwością jest więc zawartość jego pamięci, która powinna koniecznie przechowywać model otaczającego świata zewnętrznego. Model ten może być wprowadzony do pamięci przez człowieka albo może być on tworzony przez samego robota jako wynik współdziałania z otaczającym rzeczywistym ośrodkiem. Model świata zewnętrznego w procesie manipulacji ulega ciągłym zmianom wraz z penetrowaniem przez robota otoczenia i w miarę zmian samego ośrodka zewnętrznego.

Pojawienie się w pamięci robota modelu świata zewnętrznego wpływa na jego zachowanie się tak, że manipulacje nie sprowadzają się do prostego wykonywania nauczonego programu lub określonych działań zgodnie z metodą "prób i błędów", ale że robot swą działalność wypracowuje uprzednio na podstawie parametrów modelu świata zewnętrznego oraz stawianych celów.

4. Duży problem stanowi planowanie przez robota swoich działań. Najczęściej złożone zadania manipulacji rozkładać trzeba na podzadania, które będą wymagać stosunkowo nie dużego czasu poszukiwania rozwiązania, albo też ponownie muszą być rozbite na jeszcze mniej złożone operacje. Stąd rodzi się problem automatycznego rozkładu rozwiązywanych przez robota złożonych zadań na podzadania, różnego rodzaju dla rozlicznych zastosowań.

5. Coraz więcej aplikacji przemysłowych robotów wymaga rozwiązywania problemu sterowania grupą robotów [3]. Każdy robot w grupie jest składem autonomicznym, a więc zdolnym do samodzielnego wykonywania celowych zadań zadanych mu przez człowieka lub przez inny robot będący jego kierownikiem. Aby więc grupa robotów mogła rozumnie wykonywać tworzącą całość pracę należy dokonać obok podziału czynności elastycznej koordynacji tych działań.

Podział czynności polega na rozłożeniu całego zadania na podzadania i na stawianiu przed każdym robotem konkretnych celów. Zadania podziału pracy może być trudne i złożone. Z jednej strony może istnieć wiele wariantów podziału zadań na podzadania, a z drugiej strony każdy robot ma swoje osobliwe parametry, które należy uwzględnić przy analizie. Rozwiązanie zadania podziału pracy przyporządkowuje się robotowi hierarchicznie wyższego poziomu /kierownikowi grupy robotów/ albo szkieletowi nadzorującemu pracę grupy. Efektywne wykonywanie tych złożonych zadań nie obejmuje jeszcze znalezienia optymalnego podziału pracy robotów, gdyż będzie jeszcze potrzebna elastyczna koordynacja ich pracy. Koordynacja pracy robotów wymaga zdolności adaptacji do zmieniającego się świata zewnętrznego, przy uwzględnieniu działań i zachowania się pozostałych uczestników grupy. Podstawowe znaczenie ma tutaj formowanie własnej świadomości robota, czyli umiejętności budowy modelu własnego "Ja". Po umieszczeniu tego modelu w interakcji z modelem obrazu świata zewnętrznego ukształtowanego w pamięć

ci, robot będzie posiadał umiejętność analizowania sytuacji i wnioskowania o swoim przyszłym zachowaniu się w korelacji z pozostałymi uczestnikami grupy oraz z robotem kierownikiem. Każdy robot grupowy winien więc zawierać w pamięci niezależnie model zachowania się pozostałych uczestników grupy. Robot inteligentny ma analizować swoją przyszłą działalność patrząc jakby z ubocza i rozpatrując ją w oparciu o model w interakcji z każdym pozostałym robotem grupowym. Poszczególne roboty wypracowują więc taktykę swych działań korygując ją ze zmianami świata zewnętrznego i w miarę wykonywania zadań manipulacji.

6. Jak każdy twór ludzkiej myśli, także robot może być użyty przeciwko człowiekowi. Jednak obserwowane dążenia do budowy inteligentnych robotów, które potrafią zastąpić człowieka w pracach niebezpiecznych, szkodliwych, monotonicznych i nieciekawych należy odnieść do sfery działań humanitarnych. Podejmowanie coraz odważniejszych prób modelowania określonych funkcji człowieka przekonuje ludzi o wprost nieograniczonych możliwościach ludzkiego intelektu.

7. Robot, jako autonomicznie funkcjonujący adaptacyjny system urządzeniowy przedstawia sobą jedność konstrukcji, energii i informacji. Projektowanie współczesnych systemów informatycznych robotów wykorzystujących oprogramowanie i sprzęt mikrokomputerowy, korzysta z podstawowych koncepcji teorii automatycznego rozpoznawania obrazów. Obiekty teorii rozpoznawania obok dziedzin technicznych mogą występować także w medycynie, psychologii, biologii, fizjologii i wielu innych [4].

W każdej z tych dziedzin zainteresowania rodzą pewne konkretne aspekty zadania rozpoznawania od modelowania fizjologicznych procesów do poszukiwań analitycznych metod automatycznego podejmowania decyzji.

Automatyzacja procesów rozpoznawania obrazów jest współcześnie ważnym zadaniem wiążącym się ściśle z projektowaniem szeroko pojmowanych informatycznych i urządzeńowych systemów adaptacyjnych robotów przemysłowych.

a. Rozpoznawanie może dotyczyć artefaktów oraz obiektów abstrakcyjnych. Ograniczając się do rozpoznawania konkretnych obiektów, procesy rozpoznawania wiążą się ściśle z identyfikacją i klasyfikacją obrazów w przestrzeni i w czasie.

Można wyróżnić dwa kierunki rozwoju teorii rozpoznawania obrazów. Jeden dotyczy badań zdolności poznawczych ludzi i innych żywych organizmów, a drugi rozwoju podstaw teoretycznych i metod budowy struktur urządzeńowych przeznaczonych do rozwiązywania zadań rozpoznawania obrazów i generowania procedur decyzyjnych w rozlicznych dziedzinach działalności człowieka.

Badania w pierwszym kierunku dotyczą m.in. psychologii, fizjologii i biologii, a w drugim przede wszystkim dyscyplin technicznych, jak automatyka, informatyka czy systemy komputerowe. Proces rozpoznawania obrazów

można określić jako przyporządkowywanie danych wejściowych do określonej klasy za pomocą wydzielenia istotnych przymiotów lub własności charakteryzujących te dane z mnogości nieistotnych detali.

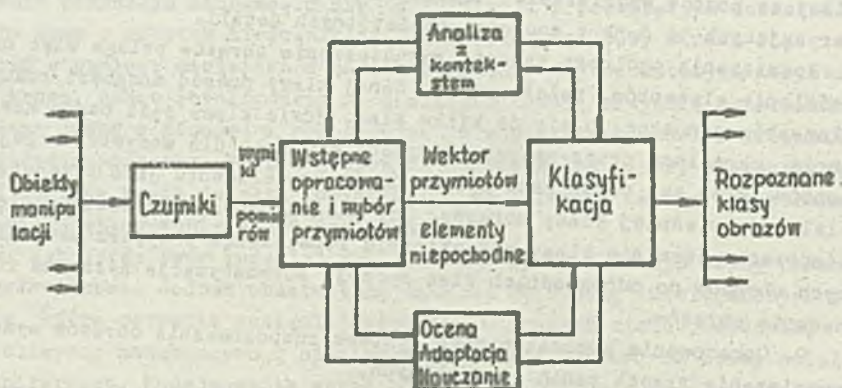
Rozwiązanie ogólnego zadania rozpoznawania obrazów polega więc na wydzieleniu elementów, należących do danej klasy spośród mnogości rozczułych elementów odnoszących się do kilku klas, gdzie klasa jest pewną kategorią określoną przez szereg własności wspólnych dla wszystkich jej elementów. Przy tym obraz jest opisem dowolnego elementu jako przedstawiciela odpowiedniej klasy obrazów. Gdy mnogość obrazów rozdziela się na nieprzecinające się klasy, poszukiwaniu rozwiązania przyporządkowania tych obrazów do odpowiednich klas sprzyja automatyzacja systemów rozpoznawania obrazów.

9. Opracowanie automatycznego systemu rozpoznawania obrazów wymaga rozwiązania trzech zadań szczególnych.

Pierwsze z nich dotyczy przedstawiania danych wejściowych, otrzymywanych z pomiarów rozpoznawanego obiektu. Pojawia się przy tym problem czułości, gdyż każda wielkość zmierzona jest pewną charakterystyką obrazu lub obiektu. Drugie zadanie szczególnie wiąże się z potrzebą wydzielenia charakterystyk przymiotów lub własności z uzyskanych danych wejściowych i z pomniejszaniem rozmiarów wektorów obrazów /wyniki pomiarów przedstawia się zwykle w postaci wektora pomiarów lub wektora obrazu/. Jest to, tzw. zadanie wstępnego opracowania i wyboru przymiotów. Trzecie zadanie łączące się z opracowaniem systemu rozpoznawania obrazów polega na poszukiwaniach optymalnych /optymalizowanych/ procedur decyzyjnych niezbędnych do identyfikacji i klasyfikacji. A więc, gdy dane o rozpoznawanych obrazach są przedstawione punktami lub wektorami pomiarów w przestrzeni obrazów, poszukuje się funkcji decyzyjnych w oparciu o oprogramowanie i sprzęt komputerowy.

Rozwiązanie zadań wstępnego przetwarzania wydzielenia przymiotów oraz identyfikacji i klasyfikacji wymaga też właściwej oceny i optymalizacji danych. Jest to, tzw. zadanie oceny parametrów. Ponadto, sam proces wydzielenia przymiotów i własności, a następnie procesy decyzyjne można istotnie udoskonalić wykorzystując informacje zawarte w kontekście obrazów, czyli w zestawieniach i porównywaniach logicznych części tekstów poprzedzających z następującymi. Informację zawartą w kontekście można mierzyć za pomocą prawdopodobieństw warunkowych, lingwistycznych statystyk i metod bliskich wariantów.

Funkcjonalny schemat blokowy adaptacyjnego systemu rozpoznawania obrazów można więc przedstawić jak na rys. 2.



Rys. 2. Funkcyjnslny schemat blokowy adaptacyjnego systemu rozpoznawania obrazów

10. Synteza systemów automatycznego rozpoznawania w oparciu o metody opisu i rozdzielenia klas obiektów, wykorzystuje trzy podstawowe zasady projektowania.

Pierwsza, to zasada przeliczenia członków klasy wchodzących w jej skład z rozpoznawaniem obrazów za pomocą porównywania z etalonem. Mnogość obrazów należących do tej klasy zapamiętuje system rozpoznawania. Prezentowanie systemowi nie znanych /nowych/ obrazów powoduje kolejne ich porównywanie z obrazami chronionymi w jego pamięci. System rozpoznawania przyporządkowuje nowy obraz do tej klasy, do której należy zapisany w pamięci obraz pokrywający się z nowym. Niezłożona w istocie zasada przeliczenia umożliwia budowę niedrogich systemów rozpoznawania, które w wybranych zastosowaniach zupełnie dobrze spełniają założone wymagania [5, 6].

Drugą zasadą projektowania automatycznych systemów rozpoznawania obrazów nazywa się zasadą wspólnych cech. Zakłada się przy tym, że obrazy należące do tej samej klasy, mają szereg ogólnych przymiotów lub własności odzwierciedlających ich podobieństwo. Te ogólne własności można wprowadzić do pamięci systemu rozpoznawania i jeśli w systemie pojawi się nieklasyfikowany obraz to wydzieli się zbiór opisujących go przymiotów /często uprzednio zakodowanych/, a następnie porównuje się go z przymiotami znajdującymi się w pamięci układu rozpoznawania. W efekcie następuje zekwalifikowanie wnoszonych do rozpoznawania obrazów do klasy, które charakteryzuje się układem przymiotów zgodnych z znajdującymi się w pamięci. Wydzieli się tak szereg ogólnych własności ze skończonego zbioru obrazów o znanej przynależności do poszukiwanej klasy. Zaletą zasady wspólnych

cech jest o wiele mniejsza pojemność pamięci do zapamiętania przymiotów klasy niż do chronienia tam wszystkich obiektów wchodzących do klasy.

Gdy obrazy pewnej klasy obiektów stanowią wektory, których składowe są liczbami rzeczywistymi, klasę tą można rozpatrywać jako klastery i wydzielać tylko jej własności w przestrzeni obrazów klastera [7]. Klaster jako grupy obiektów tworzących w przestrzeni opisu, w określonym sensie zwarte obszary umożliwiają wtedy wyodrębnianie obrazów w oparciu o zasadę geometrycznej bliskości obiektów na danym poziomie hierarchicznym.

Budowę systemu rozpoznawania w oparciu o wykorzystanie zasady klasteryzacji, a więc - metod wydzielenia na zasadach geometrycznej bliskości obiektów na danych poziomach hierarchii, określają wzajemne przestrzenie usytuowania poszczególnych klasterek. Gdy klaster reprezentujące rozliczne klasy są usytuowane względem siebie dostatecznie daleko można z powodzeniem użyć do rozpoznawania stosunkowo prostych układów, np. klasyfikatorów wg zasady minimalnej odległości. Jednak gdy klaster dąży do pokrycia się należy stosować bardziej złożone metody wyodrębnienia przestrzeni obrazów. Pokrywanie się klasterek świadczy o niepełności dostępnych informacji i zniekształceniach od szumów w wynikach pomiarowych. Stopień pokrywania się klasterek ulega często pomniejszeniu przez zwiększenie liczby i jakości pomiarów wykonywanych na obrazach danej klasy.

11. Przedstawione pokrótce zasady tworzenia systemów automatycznego rozpoznawania obrazów umożliwiają ich zaprojektowanie metodami heurystycznymi, matematycznymi, lingwistycznymi i przy wykorzystaniu kombinacji tych metod.

Podstawą podejścia heurystycznego jest wiedza, doświadczenie i intuicje człowieka, przy wykorzystaniu zasad przeliczania członów klasy oraz zasady cech wspólnych. Heurystyczne systemy rozpoznawania włączają zwykle komplet procedur logicznych opracowywanych odpowiednio do konkretnych zadań rozpoznawania. Podejście heurystyczne ma stosunkowo duży udział w opracowaniach realnych systemów rozpoznawania obrazów, jednak w tej metodologii nie udaje się sprecyzować ogólnej zasady syntezy tych systemów. Rozwiązanie każdego konkretnego zadania wymaga doboru specyficznych reguł projektowania, a struktura i jakość systemu heurystycznego zależy w znacznym stopniu od talentu i doświadczenia projektanta.

Metody matematyczne wykorzystują reguły klasyfikacji, które formułuje się i wyprowadza uwzględniając zasady wspólnych cech i klasteryzacji. Zależnie od zadania korzysta się do budowy systemu rozpoznawania z determinowanego lub statystycznego formalizmu matematycznego. Zdeterminowany formalizm matematyczny nie korzysta w jawnej postaci z własności statystycznych badanych klas obrazów. Natomiast podejście statystyczne opiera się na matematycznych zasadach klasyfikacji, które formułuje się i wyprowadza w terminach statystyki matematycznej.

Często opis obrazów należy dokonać za pomocą elementów nie pochodnych /tzw. podobrazów/ oraz wzajemnych ich związków i wtedy do projektowania automatycznych systemów rozpoznawania stosuje się ujęcie lingwistyczne lub syntaktyczne oraz reguły cech wspólnych. Obraz można bowiem opisać za pomocą hierarchicznej struktury podobrazów, analogicznie do syntaktycznej struktury języka. Umożliwie to wykorzystanie do rozwiązywania zadań rozpoznawanie obrazów teorii języków formalnych. Zakłada się przy tym, że gramatyka obrazów zawiera skończone zbiory elementów, tzw. zmiennych nie pochodnych elementów i że możliwe są zasady podstawiania. Rodzaje zadań podstawiania określa typ gramatyki, przy czym do najlepiej zbadanych gramatyk zalicza się gramatyki systematyczne, bezkontekstowe i gramatyki składowych bezpośrednich.

Osobliwe momenty w takim postępowaniu wiążą się z wyborem nie pochodnych elementów obrazu, jednoczesną tych elementów i łączących je związków w gramatykę obrazów i wreszcie, z realizacją w określonym języku procesów analizy i rozpoznawania. Podejście lingwistyczne jest szczególnie przydatne w przypadkach obrazów, które nie mogą być opisywane liczbowymi danymi z pomiarów, albo gdy są one nie tyle złożone, że nie uda się je zidentyfikować ich lokalnych przymiotów i trzeba zwracać się ku globalnym własnościom obiektów.

12. Sumując, rozważania o aktualnych problemach naukowo-badawczych stojących do rozwiązania w rozwoju adaptacyjnych robotów do elastycznej automatyzacji procesów manipulacyjnych obejmują:

1. Wyposażanie robotów w sprawne systemy czujnikowania do zbierania potrzebnych danych o otoczeniu w korelacji z danymi o stanie robota.
2. Doskonalenie systemów rozpoznawania obrazów, przetworzenie informacji i wypracowanie decyzji z wykorzystaniem oprogramowania sprzętu mikrokomputerowego.
3. Rozwój i doskonalenie systemów kompleksowej automatyzacji dyskretnych procesów przemysłowych wykorzystujących grupowe i centralizowane elastycznie sterowalne urządzenia technologiczne, w tym uniwersalne roboty przemysłowe o różnych przeznaczeniach.
4. Rozwiązywanie konstrukcji robotów o rozbudowanej strukturze kinematycznej z większą liczbą odpowiednio napędzanych ramion.
5. Doskonalenie układów napędowych robotów oraz ich energetycznych źródeł zasilania.
6. Przeprowadzenie systemowych analiz: technicznych, organizacyjnych, ekonomicznych oraz społecznych, ukierunkowanych na wypracowanie racjonalnych decyzji o możliwościach aplikacji robotów przemysłowych do elastycznej automatyzacji mechanicznych procesów obróbki skrawaniem, odlewania, spawania, kucia, prasowania, pokrywania, transportu i in.



## LITERATURA

- [1] "Robot Vision and Sensory Controls". Proceedings of the 2 nd International Conference November 2-4 1982 Stuttgart, Germany.
- [2] Kowalowski H.: Osobliwości elastycznej automatyzacji dyskretnych procesów przemysłowych drogą robotyzacji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Automatyka z. 64, Gliwice 1982.
- [3] Ingatiew M.B., Kułakow F.M., Pokrowski A.M.: Algoritmy upravljenija robotami manipuljatorami. Maszynostrojenije, Leningrad 1977.
- [4] Tou J.L., Gonzales R.C.: Patern Recognition Principles. Addison-Wesley Publishing Company, London-Tokio 1974.
- [5] Jurczyk Z.: Badanie możliwości rozszerzenia funkcjonalnych cech robota o własność widzenia. Praca dyplomowa magisterska. Instytut Automatyki Pol. Śl., Gliwice. 1983.
- [6] Pachelski J.: Badanie możliwości rozszerzenia funkcjonalnych cech robota o własności słuchowe. Praca dyplomowa magisterska. Instytut Automatyki Pol. Śl., Gliwice. 1983.
- [7] Odell P.: Klasternyj analiz. Statistika. Moskwa 1977.

Recenzent: Doc.dr inż. Andrzej Keczmarczyk

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫРАБОТКИ РЕШЕНИЙ  
В АДАПТИВНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ

Р е з ю м е

В работе оговариваются избранные научно - исследовательские проблемы, от решения которых непосредственно зависит применение промышленных роботов к эластичной автоматизации манипуляций в дискретных производственных процессах. Рассматриваемые проблемы касаются операционных процессов а также распознавания образов и выработки решений в подсистемах кинематических и приводных устройств а также устройств управления системой промышленного робота.

SCIENTIFIC PROBLEMS DIRECTED TOWARDS AUTOMATION SYSTEMS OF DECISION -  
MAKING IN ADAPTIVE INDUSTRIAL ROBOTS

S u m m a r y

The most important scientific problems whose solutions determine directly efficient applications of industrial robots in elastic automation of manufacturing processes. The problems are connected with operation processes, pattern recognition and decision making in manipulation kinematic.