

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW  
MERA-PIAP  
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

OSRODEK AUTOMATYKI ELEKTRYCZNEJ

Zespół Budowy Robotów i Serwomechanizmów

Główny wykonawca

Wykonawcy

dr inż. Bohdan Kontrymowicz

Konsultant

Nr zlecenia 9441

UKŁADY SENSORYCZNE ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Określenie zakresu i programu prac nad układami sensorycznymi robotów przemysłowych a w szczególności dla robotów z nowymi układami sterowania opartymi o urządzenia mikroprocesorowe systemu MIR-PROWAY i dla perspektywicznego robota elektromechanicznego opracowywanego w ramach Rady Głównych Konstruktorów RWPG d/s Robotyki Przemysłowej

Zlecniodawca MERA-PIAP

Pracę rozpoczęto dnia 3.10.83  
Kierownik Zespołu

dr inż. P. Jabłoński

p.o. Z-cy Dyr.  
d/s Automatyki

*Jabłoński*

*zap. Kontrymowicz*  
dr inż. F. Gałazka

zakończono dnia 31.03.84  
Kierownik Ośrodka

prof. dr inż. T. Missala

Praca zawiera:

stron 27

rysunków 5

fotografii

tabel 4

tablic

załączników

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE

Egz. 2 OAE

Egz. 3 OAE

Egz. 4 ORC

Egz. 5 OAM-R

Egz. 6

Nr rejestr. 5207

Analiza deskrytorowa

ROBOTY PRZEMYSŁOWE  
UKŁADY SENSORYCZNE  
CZUJNIKI

### Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera analizę układów sensorycznych robotów przemysłowych tj. ich oczujnikowania zewnętrznego, a w tym: wyjaśnienie podstawowych pojęć, celowości stosowania czujników, ich systematyzację, przewidywane trendy dalszego rozwoju oraz propozycje prac w tym zakresie.

### Tytuły poprzednich sprawozdań

338.45:62/68]. 002 .1/2 roboty przemysł.  
621.317.39.084,2 - czujniki pomiarowe

UKD

MERA-PIAP/TW 137/76 6000

## SPIS TREŚCI

---

	Str.
1. Wprowadzenie	4
2. Analiza i prognoza zastosowań robotów przemysłowych	5
3. Rodzaje układów sensorycznych	9
4. Trendy rozwojowe układów sensorycznych	15
5. Związek układów sensorycznych z układem sterowania	17
6. Propozycje prac w zakresie układów sensorycznych	21
7. Literatura.	25

## 1. WPROWADZENIE

Pojęcie "sensor" wywodzi się od zdolności sensorycznych systemów biologicznych czyli zdolności pobierania informacji z otoczenia. Swoją obecną popularność zawdzięcza ono przede wszystkim gwałtownemu rozwojowi robotów przemysłowych i nasuwającym się tutaj wielu analogiom do działań istot rozumnych. Aktualność problematyki sprawiła, że określenie to stało się po prostu modne i pojawia się często w literaturze w bardzo różnych kontekstach związanych z miernictwem przemysłowym. Spektrum spotykanych znaczeń sięga od elementu przetwarzającego daną wielkość fizyczną na inny łatwo mierzalny sygnał /najczęściej elektryczny/ do skomplikowanych wizyjnych systemów rozpoznających [1]. Zakres tej tematyki został bardzo trafnie określony w artykule "Technika sensorowa - czyżby nowa dyscyplina?" [2] i przedstawiony na rysunku 1.

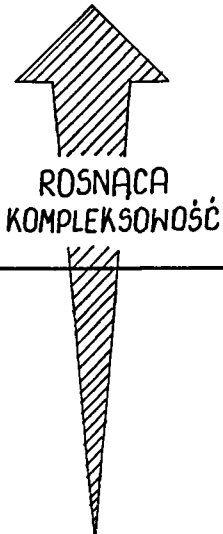
Istotną cechą wyróżniającą układy sensoryczne spośród wszystkich układów pomiarowych jest możliwość włączania ich w informatyczną pętlę sprzężenia zwrotnego zamkniętego układu regulacji. Wynikają stąd dla sensorów pewne ogólne wymagania, które muszą uwzględniać również warunki, w jakich przebiegają procesy technologiczne w produkcji przemysłowej [3]:

- kompatybilność z układami mikroelektroniki
- powtarzalna i jednoznaczna charakterystyka
- duża niezawodność
- wysoka odporność na zmienne warunki pracy /wahania zasilania i temperatury/
- duża odporność na zakłócenia zewnętrzne
- duża dokładność /w większości przypadków 0,5 do 2%/ i dobra zdolność rozdzielcza
- małe wymiary
- łatwość kalibrowania
- mały rozrzut parametrów.

## UKŁADY SENSORYCZNE

POMIAR WIELKOŚCI  
ZŁOŻONYCH JAK NP.  
JAKOŚĆ, STAN ORAZ  
ROZPOZNAWANIE  
OBIEKTÓW I POMIAR  
ICH GEOMETRII W  
PRZESTRZENI

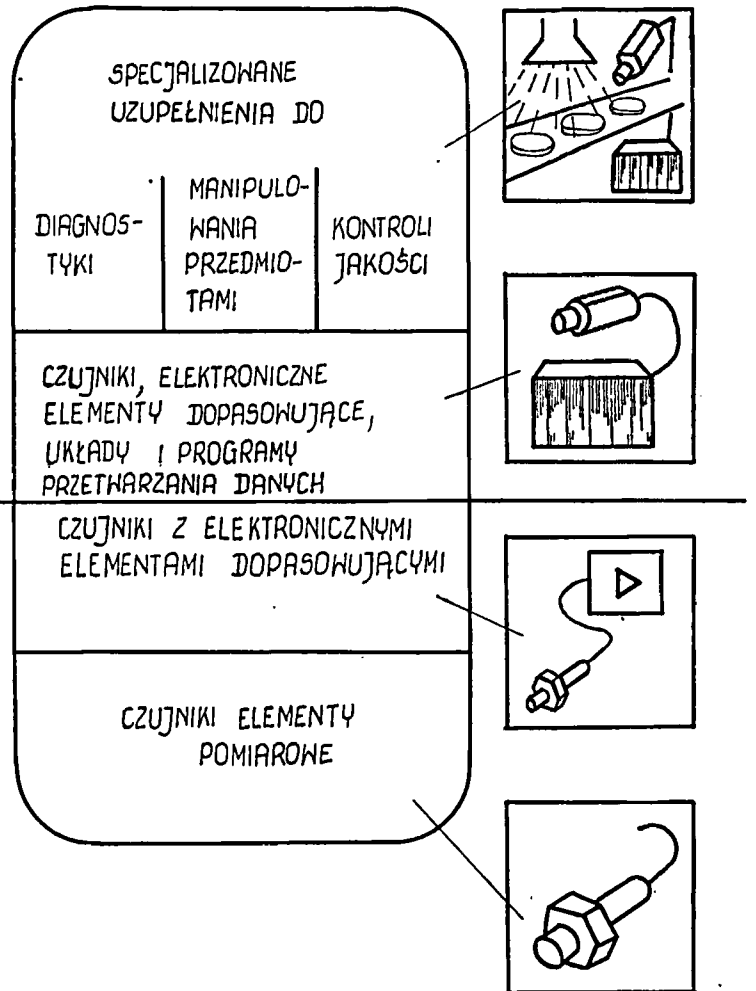
HARDWARE  
SOFTWARE



HARDWARE

SENSORY  
BAZOWE

ODWZOROWANIE  
WIELKOŚCI FIZYCZNYCH  
PRZEZ SYGNAŁY  
ELEKTRYCZNE



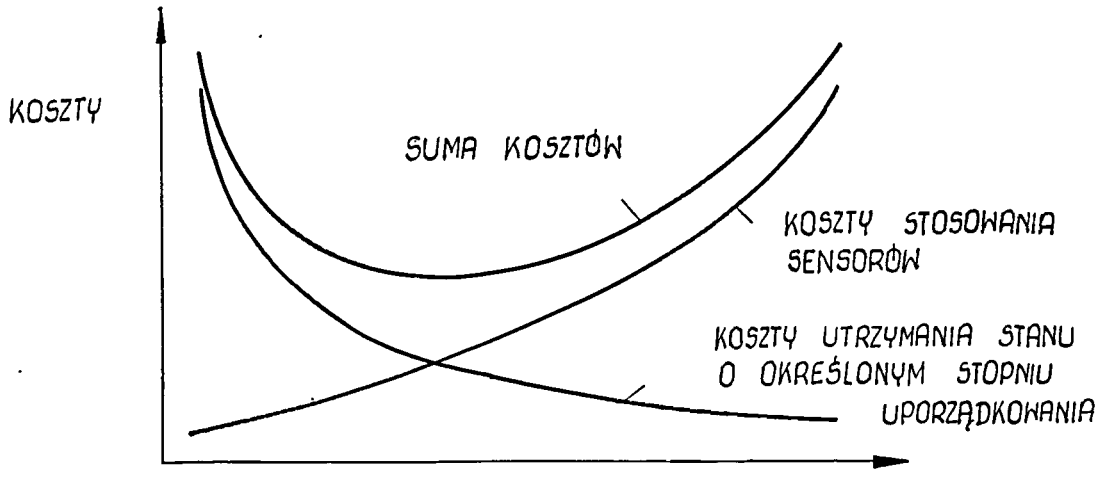
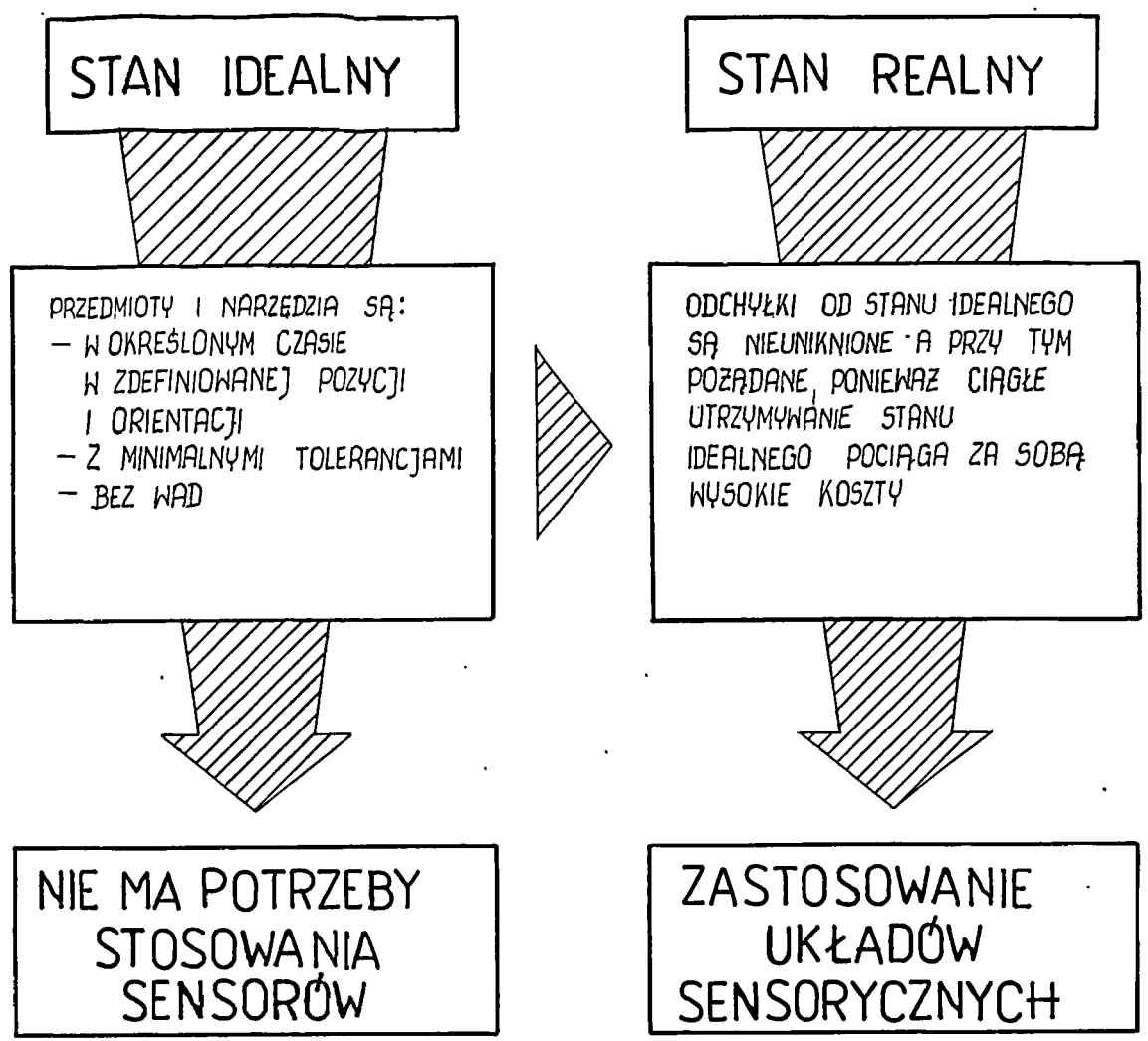
Rys.1. Elementy składowe techniki sensorowej.

Układy sensoryczne zapewniają dopływ informacji o procesie do układu sterowania. Daje się tu zauważyć pewna prawidłowość:

- im większa jest moc informatyczna układu sensorycznego ~~/ilość informacji w jednostce czasu/~~, a przy tym jednocześnie wyższy jest stopień jego skomplikowania tym większą odznacza się on elastycznością zastosowań i na odwrót,
- im czujniki są prostsze i mniej efektywne informatycznie, tym bardziej są one związane z procesem czyli z konkretnym zastosowaniem.

Przystępując do jakichkolwiek zagadnień związanych z układami sensorycznymi należy pamiętać o przyczynach, dla których są one w ogóle stosowane. Wyjaśnia to poglądowo rys.2.

Pokazane koszty zawierają nie tylko bezpośrednie koszty instalacji ale również m.in. pracochłonność i materiałochłonność.



ODCHYLEKI OD STANU IDEALNEGO  
≅ LICZBA I KOMPLEKSOWOŚĆ  
UKŁADÓW SENSORYCZNYCH

Rys.2: Przyczyny stosowania układów sensorycznych [4].

## 2. ANALIZA I PROGNOZA ZASTOSOWAŃ ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Poniższe opracowanie zawęza problematykę czujnikową do układów sensorycznych stosowanych w robotach przemysłowych. Dlatego też wszelkie wnioski odnośnie przewidywanego rozwoju tych układów wpływają bezpośrednio ze stanu obecnego i prognoz zastosowań robotów, a w każdym razie są z nimi mocno związane.

Generalnie rzecz biorąc można wyróżnić dwa rodzaje pracy robotów przemysłowych:

- praca w izolowanym pod względem automatyzacji transportu systemie gniazdowym,
- praca w większym zautomatyzowanym systemie produkcyjnym /np. na taśmie montażowej lub zautomatyzowanej linii obróbczej/.

Zwiększanie autonomii robota poprzez wyposażenie go w czujniki zewnętrzne jest w pierwszym przypadku zawsze korzystne i prowadzi do poprawy jakości wykonywanej pracy lub też otwiera nowe możliwości zastosowań. W drugim przypadku można uzyskać ten sam efekt albo przez oczujnikowanie robotów, albo przez zwiększenie redundancji systemu [4]/jeden z wariantów elastycznych systemów produkcyjnych/.

Podstawowe argumenty przem<sup>aw</sup>iające za stosowaniem robotów przemysłowych wyposażonych w układy sensoryczne można sformułować następująco:

- jakościowo nowe możliwości zastosowań, w których ze względów technologicznych nie może być zachowane ściśle określone położenie manipulowanych detali i narzędzi,
- zmniejszenie kosztów osprzętu mechanicznego do precyzyjnego pozycjonowania manipulowanych detali poprzez zmniejszenie wymagań dokładnościowych,
- zwiększenie elastyczności przez skrócenie czasu przebrojenia i uproszczenie programowania,
- możliwość wykrywania zagrożenia i zapobiegania niebezpieczeństwu grożącemu człowiekowi lub maszynom poprzez stałą kontrolę przestrzeni roboczej.



Zadania stawiane czujnikom wynikają z zastosowań robotów przemysłowych. W obecnej strukturze można wyróżnić następujące główne obszary zastosowań [5].

- Nanoszenie powłok ochronnych

Wszystkie problemy techniczne są w zasadzie rozwiązane. O zastosowaniu przesądzają czynniki ekonomiczne lub/i BHP.

- Zgrzewanie punktowe

Bardzo duży przyrost robotów przemysłowych do zgrzewania punktowego został spowodowany potrzebami przemysłu samochodowego. Ze względu na pewne nasycenie tej branży, nie należy się spodziewać, aby dalszy rozwój przebiegał tak samo gwałtownie.

- Spawanie łukowe

Większość prognoz przewiduje znaczne zwiększenie liczby zastosowań robotów do spawania łukowego. Warunkiem dalszego rozwoju jest jednakże rozwiązanie takich problemów jak śledzenie spoiny, kompensacja tolerancji pozycjonowania itp.

- Gratowanie

Gratowanie i obróbka przy pomocy robotów przemysłowych są dziedziną przyszłości, Trudności techniczne sprawiają, że w chwili obecnej zastosowania w tym obszarze znajdują się jeszcze w stadium prób.

- Montaż

Przewiduje się, że największy procentowy wzrost w strukturze zastosowań będzie udziałem robotów montażowych. Wynika to głównie z faktu znacznej pracochłonności montażu. Trzeba jednak stwierdzić, że warunki po temu, zarówno pod względem konstrukcji, jak również pod względem możliwości technicznych robotów, nie są jeszcze w większości wypadków spełniane.

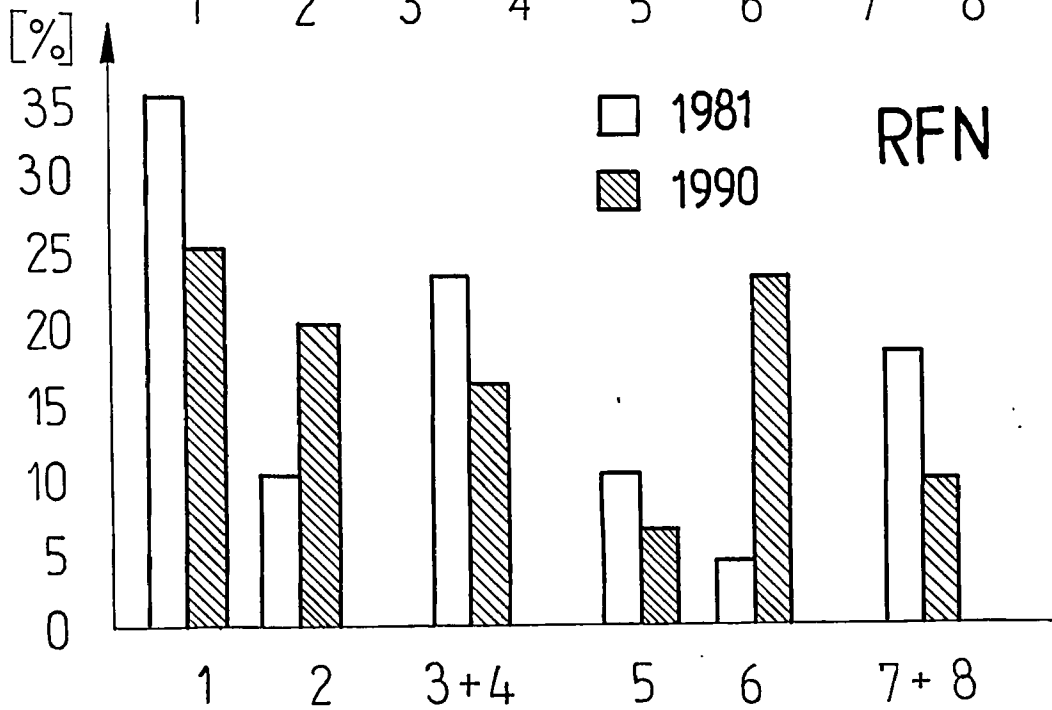
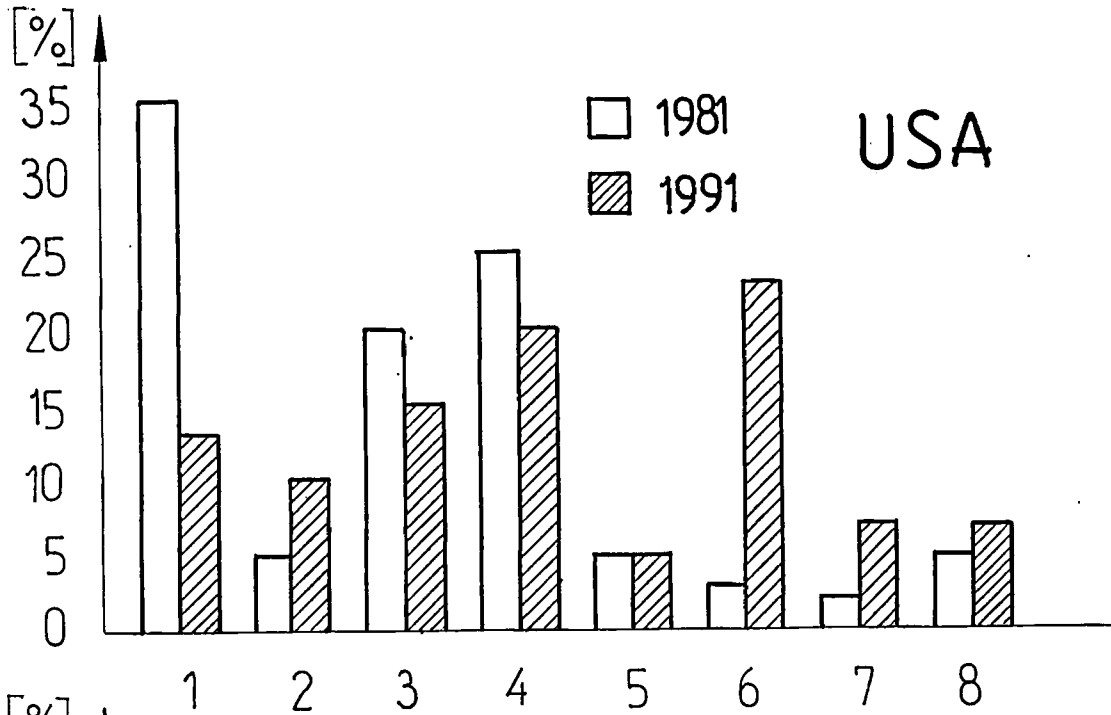
- Manipulowanie przedmiotami; załadunek i rozładunek maszyn

Jest to w zasadzie problem rozwiązany. Szczególną rolę będzie odgrywać załadunek i rozładunek obrabiarek lub innych maszyn dzięki czemu możliwa będzie organizacja pracy na drugiej i trzeciej zmianie bez udziału ludzi, a zatem lepsze wykorzystanie kapitałochłonnych środków produkcji.

Prognozy zmian w strukturze zastosowań robotów są w większości przypadków zbieżne. Z dostępnych materiałów wybrane zostały dane dotyczące rynku amerykańskiego [5] i zachodniemieckiego [6] /rys.3/. Z przewidywanej na przełom lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych struktury daje się zauważyć gwałtowny rozwój montażu i spawania łukowego. Prognozy amerykańskie zakładają ponadto wzrost udziału obróbki przy pomocy robotów, np. gratowania i czyszczenia odlewów.

Wszystkie wymienione operacje wymagają znacznych możliwości sensorycznych. O ile jednak dla spawania i obróbki zadanie sprowadza się głównie do konstrukcji odpowiednich czujników, to w przypadku montażu problem jest bardziej złożony, bo wymaga uwzględnienia możliwości robotów już na etapie projektowania detali. Dużym ułatwieniem w tym względzie jest projektowanie wspomagane komputerowo /Computer Aided Design - CAD/.

Wyciągając wnioski z przedstawionych diagramów nie wolno zapominać o liczbach bezwzględnych. Przykładowo w RFN, które jest po Japonii i USA trzecim na świecie potentatem co do ilości zainstalowanych robotów, liczba robotów do zgrzewania punktowego pracujących w przemyśle wzrosła w latach od 1981 do 1990 z 800 do 3000, a do operacji manipulacyjnych, w tym załadunku i rozładunku obrabiarek odpowiednio z 520 do 1950 szt. Wynika stąd, że oprócz robotów z coraz doskonalszym wyposażeniem czujnikowym, ciągle jeszcze istnieje zapotrzebowanie na produkowane obecnie najczęściej roboty programowane od punktu do punktu bez możliwości adaptacyjnych.



1. ZGRZEWANIE PUNKTOWE
2. SPAWANIE ŁUKOWE
3. ZAŁADUNEK I ROZŁADUNEK OBRABIAREK
4. MANIPULOWANIE PRZEDMIOTAMI NA LINII PROD.
5. LAKIEROWANIE
6. MONTAZ
7. OBRÓBKA DETALI (NP. GRATOWANIE I CZYSZCZENIE ODLEWÓW)
8. POZOSTAŁE ZASTOSOWANIA

Rys.3. Prognoza struktury zastosowań robotów przemysłowych.

### 3. RODZAJE UKŁADÓW SENSORYCZNYCH

Znanych jest kilka sposobów klasyfikacji układów sensorycznych. Różnią się one przyjętymi kryteriami podziału ze względu na:

- zasadę działania czyli rodzaj elementu sensorycznego [7] [8] [9] - np. czujniki optoelektroniczne, indukcyjne, tensometryczne, wizyjne,
- rodzaj wielkości mierzonej [10] - np. czujniki siły, odległości, pozycji i orientacji przedmiotu,
- stopień kompleksowości uzyskiwanej informacji [11] - np. czujniki binarne, czujniki wielkości fizycznych /wymiarów geometrycznych, siły, temperatury/, czujniki do rozpoznawania obiektów, czujniki do analizy obrazów,
- przeznaczenie tj. operacje, którą wykonuje robot [12] [13] [14] np. czujniki do montażu, spawania łukowego, kontroli jakości,
- technologię wytwarzania elementu sensorycznego [15] - np. czujniki półprzewodnikowe, cienkowarstwowe, grubowarstwowe.

Wnikliwą analizę układów sensorycznych do robotów przemysłowych 2 i 3 generacji przedstawił V. Kempe [16]. Przytoczona dalej za tym autorem tabela 1 zawiera szczegółowe zestawienie rodzajów pomiarów i odpowiadające im operacje które wykonuje robot przemysłowy.

M

Tab.1. Rodzaje pomiarów i odpowiadające im operacje [16].

RODZAJ POMIARU	OPERACJE, KTÓRE ROBOT MA WYKONAĆ
1. Obecność zdefiniowanych obiektów w zdefiniowanych położeniach	Kontrola położenia i zabezpieczenie przed kolizją
2. Położenie chwytaka względem zdefiniowanego detalu	Chwytnie
3. Określenie prostych i nie-skalarnych parametrów stanu obiektu /temperatura, masa, wilgotność itd./	Uniknięcie operacji niewłaściwych kontrola obiektu manipulowanego kontrola przestrzeni roboczej np. pod względem wilgotności, kurzu, oleju, itd.
4. Odchyłki od zadanych punktów w przestrzeni	Ładowanie i pozycjonowanie detalu ze zwiększoną dokładnością
5. Odchyłki od zadanego toru ruchu	Operacje technologiczne np. śledzenie spoiny spawaliczej, czyszczenie odlewów, szlifowanie, malowanie
6. Rozpoznawanie cech, które wcześniej zostały w tym celu nadane obiektom	Klasyfikacja obiektów
7. Położenie względne prostych detali o stałym zdefiniowanym kształcie	Precyzyjne operacje montażu
8. Absolutny pomiar toru ruchu /współrzędne, prędkość, przyspieszenie/	Wspomaganie realizacji dowolnych torów ruchu /szczególnie w robotach adaptacyjnych/
9. Siły i momenty względnie rozkład siły pomiędzy chwytakiem i detalem lub między dwoma detalami	Operacje montażowe w tym typu wkładanie wałka w otwór o znikomej tolerancji, chwytnie i pozycjonowanie z regulacją siły
10. Rozpoznawanie kształtu przy pomocy prostych cech własnych obiektów	Klasyfikacja, chwytnie obiektu odpowiednio do jego kształtu i położenia
11. Zaistnienie zdefiniowanych przeszkód	Manipulowanie w przestrzeni roboczej ze zdefiniowanymi ograniczeniami
12. Odległość pomiędzy chwytakiem/kiścią i obiektem	Szybki ruch do punktu docelowego, wspomaganie zabezpieczenia przed kolizją, wspomaganie widzenia przestrzennego, wspomaganie przy omijaniu przeszkód

12

13. Dotykowy pomiar i rozpoznawanie kształtu	Chwywanie dowolnych obiektów odpowiednio do ich kształtu, rozpoznawanie obiektów, kontrola kształtu, wspomaganie montażu wysokiej klasy dokładności w dowolnej pozycji, dotykowe poznanie otoczenia
14. Rozpoznawanie dźwięków	Kontrola i diagnoza, rozkazy wydawane mową
15. Wizyjne rozpoznawanie obiektów przez próbkowanie toru ruchu obiektu lub sensora /obrazy białoczarne lub kolorowe/	Klasyfikacja obiektów, rozpoznawanie położenia, kontrola kształtu i koloru, rozpoznawanie punktów lub linii odniesienia do sterowania operacjami technologicznymi, kontrola jakości powierzchni, pewne ograniczone możliwości liczenia się
16. "Widzenie" maszynowe przy pomocy jednej lub wielu matryc półprzewodnikowych	Dodatkowo do pkt.13: położenie obiektów względem siebie, uczenie się i kompleksowe odwzorowywanie w pamięci geometrii otoczenia.

Nomenklatura czujników informacji zewnętrznej robota ustalona na posiedzeniu ekspertów krajów - członków RWPG w dziedzinie robotów przemysłowych [17] łączy w sobie wymienione na początku trzy pierwsze kryteria. Obejmuje ona:

- Czujniki do systemów wizyjnych
  - . półprzewodnikowy czujnik liniowy CCD 256 x 1 elementów,
  - . matryca fotodiodowa z 32 x 32 elementów dyskretnych,
  - . kamera TV z dyskretyzacją obrazu na 128 x 128 elementów,
  - . scalona matryca obrazowa CCD 128 x 128 elementów.Przewiduje się możliwość polepszenia zdolności rozdzielczej powyższych czujników.
- Bezdotykowe czujniki pomiaru odległości
  - . w zakresie do 1 cm: indukcyjny, optoelektroniczny, elektrostatyczny, magnetyczny,
  - . w zakresie od 1 cm do 20 cm: ultradźwiękowy, optoelektroniczny, pneumatyczny,
  - . w zakresie od 0,2 do 10 m: ultradźwiękowy, optoelektroniczny.

- Czujniki sił, momentów i dotyku
  - . czujniki sił i momentów,
  - . indukcyjny czujnik wyslizgiwania się przedmiotu z chwytaka,
  - . matryca czujników dotykowych 6 x 6, 8 x 12, 16 x 16 elementów.
- Czujniki specjalizowane
  - . temperatury.

Systemy wizyjne są obecnie najbardziej skomplikowanymi układami sensorycznymi robotów przemysłowych. Element sensoryczny, jakim jest kamera, zapewnia wprawdzie uzyskanie sygnału wizyjnego i decyduje o zdolności rozdzielczej, systemu, ale stanowi zaledwie początek toru przetwarzania informacji. Moc informatyczna takiego układu sensorycznego zależy głównie od efektywności zastosowanych algorytmów i sposobu realizacji następujących bloków funkcjonalnych

- Odświeżanie obrazu
  - . poprawiania odwzorowania,
  - . korekcja zniekształceń układu optycznego i szumów,
  - . filtracja i oczyszczanie obrazu,
  - . pogłębianie ostrości obrazu.
- Segmentacja
  - . rozkładanie obrazu na obszary odpowiadające poszczególnym obiektom lub ich częściom np.: konturowanie, separacja obszarów jednorodnych, binaryzacja.
- Opis obrazu w zbiorze cech pierwotnych
  - . charakterystycznymi cechami własnymi /model wektorowy lub parametryczny/,
  - . tekstowy /syntaktyczny lub strukturalny/,
  - . przy pomocy spektrogramu /parametryczny/.
- Analiza obrazu
  - . wybór modelu
  - . operowanie cechami na wyższym poziomie przetwarzania obrazu /w języku programowania/,
  - . klasyfikacja,
  - . interpretacja obrazu.

Najważniejszymi zaletami systemów wizyjnych są:

- duża zdolność rozdzielcza,
- możliwy długi okres eksploatacji ze względu na bezdotykowość pomiaru,
- brak fizycznego wpływu na przedmioty,
- względnie duża elastyczność zastosowań,
- krótki czas pomiaru nie wymagający w większości przypadków ruchu układu manipulacyjnego robota.

Do zasadniczych wad systemów wizyjnych należy zaliczyć:

- wysoki koszt komputera wizyjnego i kamery,
- duże nakłady na oprogramowanie,
- zanieczyszczenia, zakłócenia w oświetleniu a w tym zakresie mogą prowadzić do błędów pomiaru,

Bezdotykowe czujniki pomiaru obecności i odległości wykorzystują różne metody zależnie od konkretnego przypadku, w którym mają być zastosowane. Ich zalety i wady zostały omówione w pracy [10], a przykładowe rozwiązania w pracy [18].

Następną grupę czujników stanowią układy, które wykorzystują do pomiaru bezpośredni fizyczny kontakt z obiektem /niem. taktile Sensoren, ang. tactile sensors/.

Konieczność stosowania sensorów sił i momentów wynika z następujących powodów:

- Przy manipulowaniu sztywnymi przedmiotami małe odchyłki powodują niejednokrotnie duże siły i naprężenia,
- Brak zadawalających rozwiązań alternatywnych do dokładnego dozowania siły ścisku chwytaka oraz siły z jaką ramię robota manipuluje detalem,
- Manipulowany detal nie może być obserwowany przy pomocy sensorów wizyjnych z powodu niezadawalającego oświetlenia lub zakrycia detalu przez przeszkody,
- Transformacja danych wizyjnych na korekcje położenia ramienia - nawet przy dostatecznej dokładności - nie jest jeszcze dostatecznie opanowana,



- Dotykowe systemy sensoryczne są w wielu przypadkach tańsze od systemów innego rodzaju.

Stosowanie czujników dotykowych do rozpoznawania obiektów stanowi w określonych przypadkach ewentualną alternatywę dla systemów wizyjnych [19] [20] [21] .

Zaletami matryc dotykowych są:

- prostota konstrukcji,
- niewielkie wymiary umożliwiające zamontowanie w chwytaku robota,
- niska cena,
- duża odporność na zanieczyszczenie środowiska pracy,
- niezbyt wygórowane wymagania odnośnie sprzętu i oprogramowania do przetwarzania informacji.

Jako wady matryc dotykowych można wymienić:

- małą zdolność rozdzielczą, ograniczającą obszar zastosowań,
- zużywanie się kontaktów,
- wymaganą minimalną siłę nacisku.

Czujniki specjalizowane nie stanowią pod żadnym względem jednolitej grupy i nie pozwalają na jakiegokolwiek uogólnienia.

#### 4. TRENDY ROZWOJOWE UKŁADÓW SENSORYCZNYCH.

Niezaprzeczylnym trendem w rozwoju układów sensorycznych robotów przemysłowych jest dążenie do stworzenia konstrukcji technicznych, które byłyby w stanie doścignąć zdolności sensoryczne człowieka. Tym samym byłoby możliwe zastąpienie człowieka w uciążliwych i monotonicznych pracach o charakterze typowo odtwórczym przez roboty.

W literaturze technicznej można znaleźć doniesienia o zrealizowanych już pilotowych instalacjach robotów przemysłowych wyposażonych w zestawy czujników do spawania i szlifowania blach [23], szlifowania odlewów [24] [25], montażu [14] [26]. W niektórych publikacjach czujniki są potraktowane jako środek warunkujący automatyzację skomplikowanych procesów produkcyjnych [27] [28] [29] [36] i kontroli jakości [30].

Jedną z najbardziej złożonych i najtrudniejszych pod względem sensorycznym klas zagadnień jest ł.zw. "swobodny chwyt z pojemnika" [31] [32]. Wymaga on bardzo rozbudowanego systemu wizyjnego oraz czujników obecności, zbliżeniowych, siły ścisku i momentów siły zamontowanych w chwytaku [33].

Na podstawie literatury można stwierdzić, że w liczących się ośrodkach naukowych i firmach produkujących roboty przemysłowe prowadzone są intensywne prace nad zwiększaniem ich możliwości sensorycznych [6] [34] [35].

Polepszenie zdolności adaptacyjnych robotów dzięki oczujnikowaniu zwiększa ich autonomię i rozszerza obszar zastosowań, gdzie mogą one zastąpić człowieka.

Koszty skomplikowanych układów sensorycznych rosnące progresywnie wraz ze stopniem ich złożoności nie są jeszcze w pełni uzasadnione ekonomicznie. Mimo to zastosowanie ich w robotach przemysłowych umożliwia stopniową modernizację istniejących zakładów poprzez tworzenie pojedynczych zautomatyzowanych gniazd produkcyjnych. Pociąga to za sobą w sumie mniejsze koszty niż instalowanie całych elastycznych systemów wytwórczych lub budowa od podstaw całkowicie zautomatyzowanych fabryk, które z reguły zadawalają się dużą ilością czujników stosunkowo prostych.

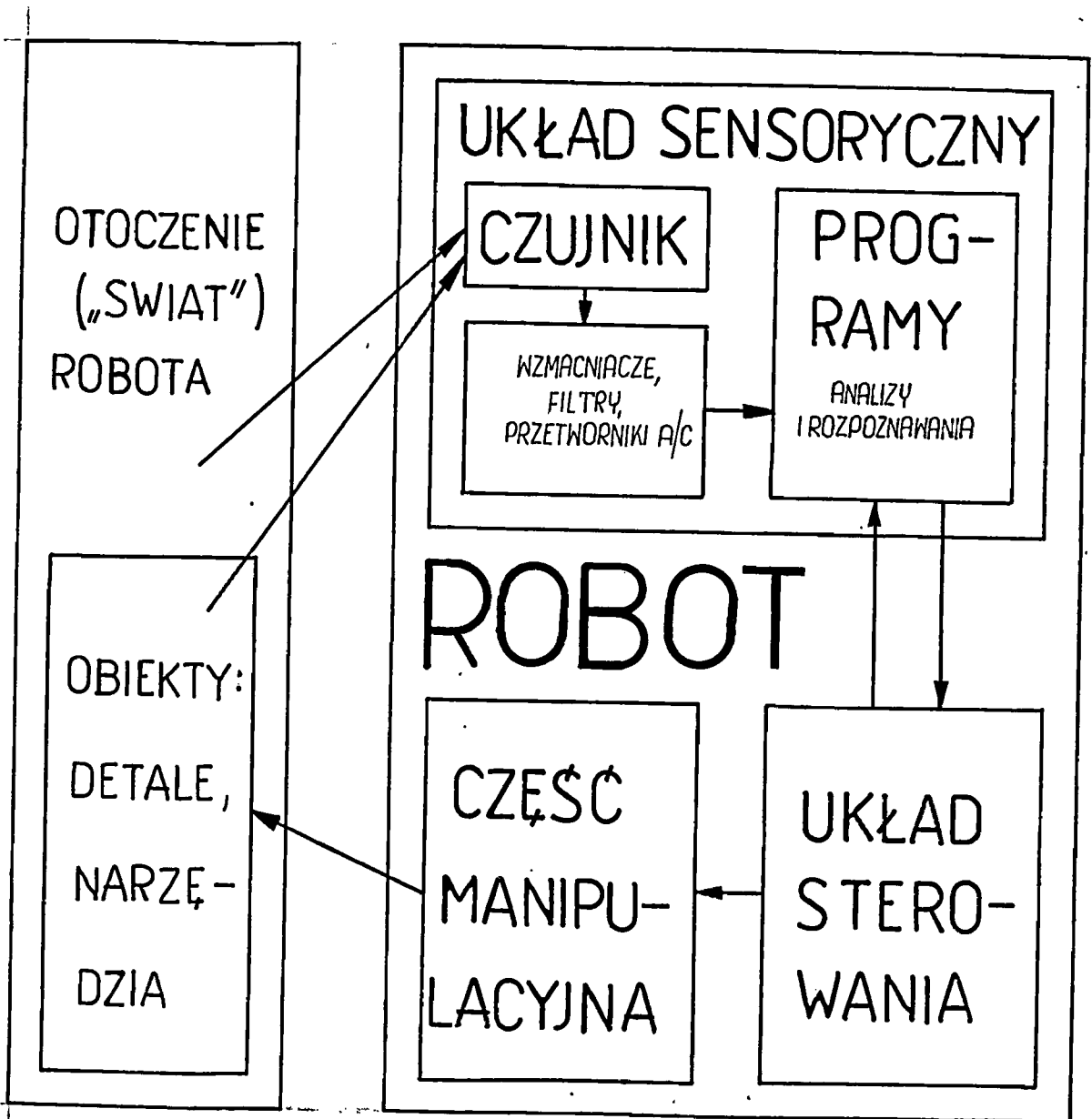
Przeprowadzona analiza pozwala na sformułowanie następujących uogólnień:

- konstrukcja układów sensorycznych wywodzi się z konkretnych potrzeb technologicznych w konkretnej aplikacji,

- największa ilość dotychczasowych opracowań dotyczy systemów sensorycznych siły i wizyjnych,
- wraz ze specjalizacją robotów do określonych klas zadań zaczyna się uwidaczniać tendencja do wyposażania ich w pewne typowe dla tych zadań układy sensoryczne,
- brak dostatecznej standardyzacji powoduje niemożliwość modułowego wykorzystania elementów systemów sensorycznych,
- stan rozwoju układów sensorycznych o wysokim stopniu efektywności informatycznej /systemy wizyjne i matryce czujników dotykowych/ nie znajduje w chwili obecnej pełnego uzasadnienia ekonomicznego i metodycznego, chociaż ich zastosowanie w największym stopniu zwiększy autonomię i elastyczność robota.

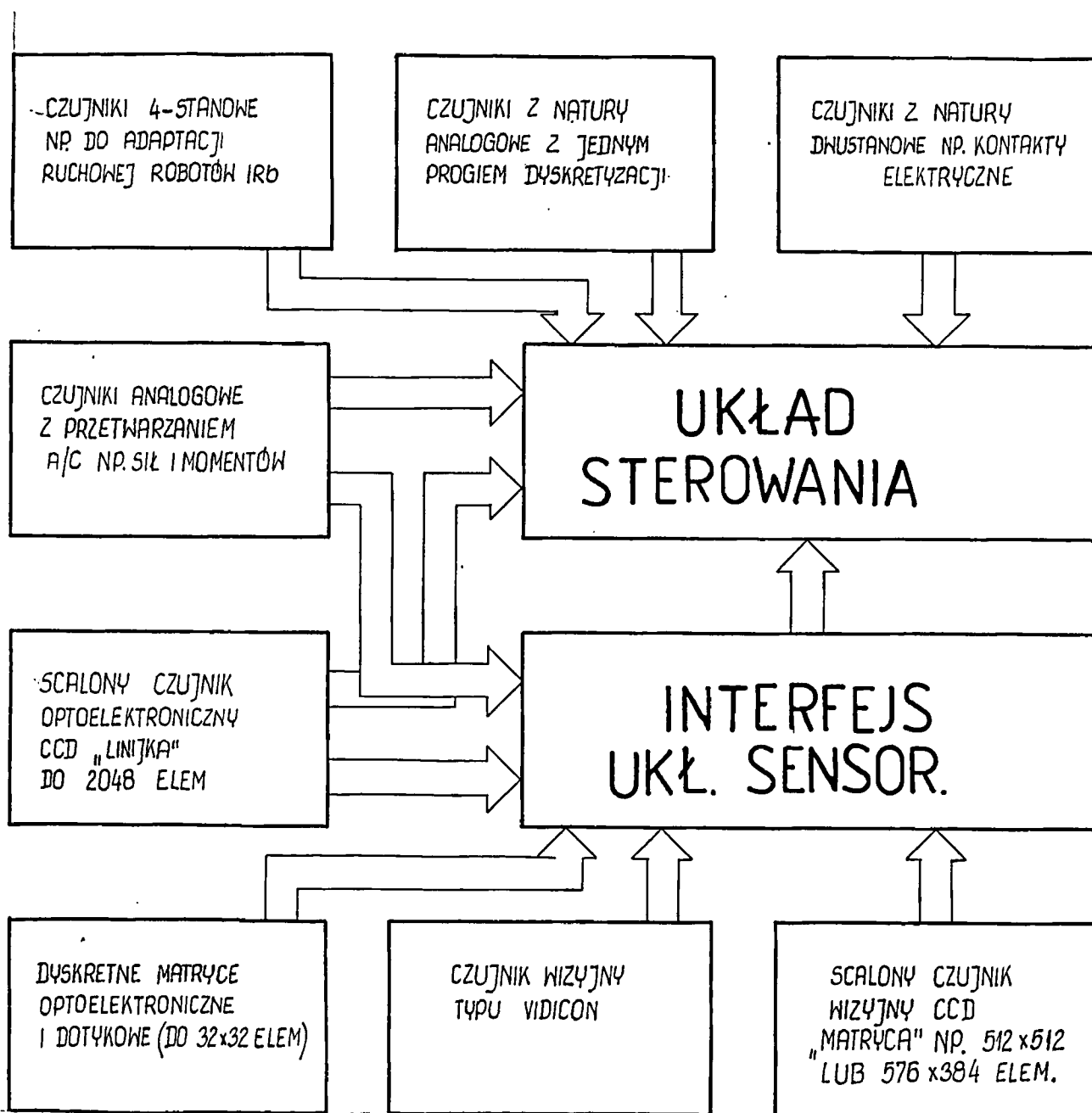
5. ZWIĄZEK UKŁADÓW SENSORYCZNYCH Z UKŁADEM STEROWANIA

Podstawowym założeniem jakie należy przyjąć w celu otrzymania jednoznacznej i przejrzystej struktury robota przemysłowego jest wyraźne wydzielenie układów sensorycznych /czujników informacji zewnętrznej z koniecznym przetwarzaniem tej informacji/ i układu sterowania opracowującego jednocześnie informację z czujników wewnętrznych /rys.4/.



Rys.4. Usytuowanie układu sensorycznego z czujnikami zewnętrznymi w strukturze robota przemysłowego.

Wymiana informacji pomiędzy tymi dwoma układami odbywa się na poziomie decyzyjnym t.j. poprzez cyfrowo wyrażone stwierdzenia, czy dany stan zaprogramowany jako wzorcowy, został osiągnięty. Zależnie od stopnia skomplikowania może być wymagany interfejs układu sensorycznego /rys.5/.



Rys.5. Przykłady układów sensorycznych nie wymagających i wymagających stosowania specjalnego interfejsu.

Można zaobserwować związek pomiędzy stopniem rozwoju układu sensorycznego i poziomem rozwoju układu sterowania. Głównie te dwa czynniki określają przynależność robota do danej generacji /tab.2/.

=====

### 1. generacja

Manipulatory i roboty przemysłowe sterowane programowo.

- A<sup>x</sup>/ przebieg, łączenie i wyzwalanie poszczególnych ruchów na podstawie porównań z wartościami zadanymi, funkcje specjalne np. automatyczny wybór programu, synchronizacja taśmy i.in. na życzenie użytkownika,
- B<sup>x</sup>/ rozkazy dla części manipulacyjnej ściśle według programu; faktyczne osiągnięcie przez daną funkcję sterującą zamierzonego celu nie jest kontrolowane,
- C<sup>x</sup>/ wewnętrzne czujniki pozycji i przesunięcia /pośrednie określenia pozycji chwytu/.

### 2. generacja

Roboty przemysłowe "czujące" i "widzące"

- A. dodatkowe funkcje jak: korekta pozycjonowania, rozpoznawanie kształtu i pozycji, rozpoznawanie przedmiotów i otoczenia, samokontrola, porównywanie wektorów stanu do wyzwalania ruchów
- B. dodatkowo do 1 generacji: sygnały z czujników wpływają np. poprzez decyzje logiczne na realizację programu przewidzianymi z góry na dane sytuacje algorytmami /funkcje celu/,
- C. jak w 1.generacji, a dodatkowo: czujniki dotykowe, siły, optyczne i wizyjne do określania stanu i rozpoznawania obiektów.

### 3. generacja

"Inteligentne" roboty przemysłowe

- A. modelowanie przedmiotu pracy poprzez "uczenie", program jest tworzony niejako samodzielnie przez układ sterowania na bazie zleconego zadania docelowego i określonych kryteriów

optymalizacji jak również wewnętrznego modelu otoczenia; realizacja funkcji sterujących np. poprzez porównywanie stanu faktycznego z modelem,

- B. wyzwalamie ruchów na podstawie decyzji opierających się na pełnej identyfikacji procesu i otoczenia "zdolności do "samouczenia", wysoki stopień adaptacji zapewniający optymalne reakcje na nieprzewidziane wcześniej zdarzenia w procesie lub otoczeniu,
- C. przede wszystkim czujniki wizyjne /technika telewizyjna/, czujniki dotykowe, czujniki sił i momentów, czujniki optyczne; wszystkie układy sensoryczne do bezpośredniego rozpoznawania obiektów, pozycji stanów, przeszkód i.t.d.

- =====
- x/ A - charakterystyka algorytmów sterowania,
  - B - charakterystyczne cechy przetwarzania informacji,
  - C - typowe cechy układów sensorycznych.

Tabela 2. Zasadnicze cechy charakteryzujące trzy generacje robotów przemysłowych [37].

Łącząc w jednym robocie elementy charakteryzujące dwie różne generacje powstają konstrukcje pośrednie określane często mianem generacji 1,5 /np. IRb z adaptacją ruchową/ względnie 2,5. Nie wdając się w dalsze rozważania teoretyczne z zakresu generacji robotów trzeba stwierdzić, że rozwój układu sterowania wymusza niejako wyposażanie robota w coraz doskonalsze czujniki i na odwrót. Mało bowiem który producent robotów zdecydowałby się na oferowanie urządzeń, które tylko w pewnym nieznacznym procencie wykorzystywałyby tkwiące w nich potencjalne możliwości.

## 6. PROPOZYCJE PRAC W ZAKRESIE UKŁADÓW SENSORYCZNYCH

Z przedstawionego materiału można wyciągnąć kilka wniosków prowadzących bezpośrednio do sugestii prac w zakresie układów sensorycznych.

- Mimo powstawania coraz nowszych i doskonalszych konstrukcji robotów wyższych generacji ich udział w roku 1990 zdaje się nie przekroczyć ok. 30%. Pozostałe zapotrzebowanie powinno dać się pokryć przy pomocy robotów 1. generacji.
- Dążeniem firm produkujących roboty przemysłowe będzie opanowanie produkcji robotów wyższych generacji wyposażonych w czujniki dużej mocy informatycznej otwierające nowe możliwości zastosowań. Trend ten nie daje się jeszcze obecnie uzasadnić względami ekonomicznymi, za to osiągnięcia w tym zakresie mają spore znaczenie reklamowe i przyczyniają się do zwiększenia sprzedaży mniej skomplikowanych robotów danej firmy.
- Z punktu widzenia producenta istotna jest możliwość oferowania robotów przemysłowych o względnie jednolitym poziomie technicznym poszczególnych układów np. układu sterowania i układów sensorycznych.
- Prace konstrukcyjne nad czujnikami prostymi o małej mocy informatycznej można prowadzić tylko do określonego zastosowania.
- Obszarami zastosowań robotów przemysłowych jakie według danych prognostycznych będą dzięki czujnikom zwiększać swój udział w ogólnej liczbie instalowanych robotów to montaż, spawanie łukowe i obróbka /szlifowanie, gratowanie itp/.

Zapotrzebowanie na czujniki zewnętrzne do robotów przemysłowych w Polsce zostało przedstawione w tabeli 3.



POZ.NOMENKL. RWPG	NAZWA CZUJNIKÓW	ILOSC CZUJNIKÓW /SZT./
1.1.1....1.1.4	Czujniki wizyjne	100
1.2.1....1.2.9	Czujniki obecności i odległości bezdotykowe	10.000
1.3.1	Czujniki siły i momentu	250
1.3.3	Czujniki położenia dotykowe	50
1.4.1	Czujniki temperatury	50

Tabela 3. Zapotrzebowanie na czujniki zewnętrzne do robotów przemysłowych w Polsce w okresie 1986-1990,

Uwzględniając ponadto prowadzone już prace oraz możliwości MERA-PIAP autor opracowania sugeruje:

I. Rozwinąć prace nad czujnikami optoelektronicznymi z głównym przeznaczeniem jako dwustanowe czujniki obecności.

Spełniają one tę samą rolę co mikrowłączniki, lecz dzięki zasadzie działania eliminującej bezpośredni dotyk i zużycie mechaniczne, mają znacznie dłuższą żywotność. Zamontowane właściwie z przeznaczeniem w chwytaku robota mogą stanowić wystarczające oczujnikowanie zapewniające sprzężenie zwrotne. Są podstawą wszelkiej automatyzacji procesów nieciągłych tj. jako sygnalizatory osiągnięcia kolejnych stanów dyskretnych.

II. Zbadać możliwości zastosowania dyskretnych elementów optoelektronicznych do konstrukcji czujników odległości oraz śledzenia spiny przy spawaniu łukowym [38].

III. Wznović prace nad wieloskładowymi czujnikami sił i momentów głównie do operacji obróbczych /szlifowania, gratowania, ewentualnie frezowania/ z możliwością wykorzystania w procesach montażu.

W sytuacji pojawiającego się obecnie w Polsce zjawiska braku rąk do pracy niedobory te uwidoczną się przede wszystkim na stanowiskach uciążliwych i szkodliwych dla zdrowia, a więc również przy szlifowaniu odlewów. Godnymi uwagi są też operacje frezowania, szlifowania i polerowania w przemyśle meblarskim.

Czynnikiem warunkującym zdaniem autora powodzenie w tej klasie zastosowań jest prostota konstrukcji czujnika oraz wyposażenie go w specjalizowany procesor m.in. do cyfrowej filtracji zakłóceń i obsługi programowej.

Zastosowanie w procesach montażu jest z zasady możliwe, ale bez użycia jakichkolwiek dodatkowych urządzeń jest ograniczone stosunkowo dużym inkrementem ruchu robota.

#### IV. Prowadzić dalej i rozwijać prace nad układami wizyjnymi.

Poziom techniczny nowego układu sterowania opartego na systemie MIR-PROWAY wskazuje na przynależność do 2. generacji robotów. W pracy bez sprzężenia zwrotnego z czujników zewnętrznych możliwości nowego robota nie byłyby wykorzystane. Dopiero wyposażenie go w czujniki o stosunkowo dużej mocy informatycznej postawiłoby tę konstrukcję faktycznie w rzędzie robotów 2. generacji, co za kilka lat na pewno nie będzie specjalną rewelacją techniczną, ale zapewni całkiem przyzwoity poziom.

Poza tym można się spodziewać, że systemy wizyjne w samej tylko automatyzacji produkcji znajdą więcej zastosowań bez udziału robotów niż we współpracy z nimi.

#### V. Przeanalizować i opracować zagadnienia dotyczące styku pomiędzy czujnikami zewnętrznymi robota i układem sterowania, a w tym:

- modułowy zestaw interfejsów dla układów sensorycznych na bazie mikroprocesorowego systemu MIR-PROWAY,
- programową kalibrację układów sensorycznych,
- transformację układu współrzędnych czujnika /np. kamery/ do układu współrzędnych robota,
- instrukcje dla użytkownika odnoszące się do programowania robota z wykorzystaniem czujników zewnętrznych.

Proponowany harmonogram prac w zakresie układów sensorycznych został przedstawiony w tabeli 4.

ROK	OCZUJNIKOWANIE OPCJONALNE			NOWY UKŁAD STEROWANIA ROBOTA	
	OPTOELEKT. ORAZ SIŁY	SYS.WIZ. DO SPAWANIA POLITECHNIKI WARSZ. TECHNIKI	SYSTEM WIZYJNY ICT POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ		INTERFEJSY
1984	PROPOZYCJE PRAC W MERA -PIAP			ZAŁOŻENIA NA PROGRAM	
	DO	WYKONANIE MODELU I INNYCH URZĄDZEŃ SYSTEMU	OPRACOWANIE I URUCHOMIENIE ALGORYTMÓW EKSTRAKЦИИ CECH	ZAŁOŻENIA NA INTERFEJSY /NA BAZIE NOMENKL.RWPG/ I PROGRAMOWĄ OBSŁUGĘ CZUJNIKOW ZPWN. DOKUMENTACJA MODELU	MODEL /HARDWARE/
1985	UZ- GOD- NIE-	CAŁOŚĆ PRACY. URUCHOMIENIE CAŁEGO ZESTAWU, PRZEBADANIE SYSTEMU SPRZĘGNIĘTEGO Z IRb-6	OPROGR.I URUCHO. ALGORYTMÓW ROZPOZNAWANIA	WYKONANIE I ZBADANIE MODELU	URUCHOMIENIE PROTOTYPÓW
			PROJEKT PROCESORA WIZYJNEGO /MODELU/UŻYTKOW. W STAND.MIR PROWAY	DOKUMENTACJA PROTOTYPU	
1986	NIA		OPROGRAMOWANIE	5 MIESIĘCY/ ZBADANIE PROT./2 MIE. REWIZJA DOKUMENTACJI PO BADANIACH SPRZĘGNIĘCIE SYS. WIZYJNEGO Z ROBOTEM	PRZEBADANIE PROTOTYPÓW Z OPROGRAMOWANIEM

Tabela 4. Harmonogram prac

2/6

## 7. LITERATURA

- [1] Aus der Arbeit der WGMA: Was ist ein Sensor?  
Feingeratetechnik 31. Jg. Heft 10/1982, s.470-471.
- [2] Gunzel K.: Sensortechnik-eine neue Disziplin?  
technisches messen 50. Jg, 1983, H10.
- [3] Diehl R.: Engpaß Sensoren. etz Bd. 103  
/1982/ H.10. s 502-504.
- [4] Witte K.-W.: Rationalisierungsreserven nutzen:  
Flexible Automatisierung in der Montage  
cz.I VDI-Z 125/1983/ Nr 10 s.363-367  
cz.II VDI-Z 125/1983/ Nr 11 s.461-467
- [5] Schraft R.D.: Industrieroboter-Stand der Technik,  
neue Einsatzfelder und Grenzen der Automatisierung.  
etz Bd.104 /1983/ H.11 s.519-523.
- [6] Becker H.: Industrieroboter. Handhabungsgeräte,  
Sensoren, Programmiersprachen und Fertigungssysteme.  
BDI-Z 125/1983/ Nr 11 s.437-440.
- [7] Breitmeier U.: Einsatz opto-elektronischer Sensoren in  
der Fertigungsmesstechnik sowie zum Steuern von Robotern.  
VDI-Z 125 /1983/ Nr 21 s.873-879.
- [8] Roth. D.H.: Optoelektronische Halbleiter-Sensoren. etz Bd.  
103 /1982/ H.10 s.510-513.
- [9] Ort W.: Sensoren mit Dehnungsmeßstreifen aus Metallfolien.  
NTG-Band 79.
- [10] Rembold U i.in.: Technische Anforderungen an zukünftige  
Montageroboter. VDI-Z 123 /1981/  
Teil 1: Analyse von Montagevorgängen und montagegerechtes  
Konstruieren. Nr 18 s.763-772.  
Teil 2: Teilsysteme, ihre strukturellen und ihre funktionellen  
Eigenschaften. Nr 19 s.790-196.  
Teil 3: Sensoren und Rechnersysteme mit aufgabenangepaßter  
Struktur Nr 20 s.839-843.  
Teil 4: Programmiersprachen und Programmiersysteme  
Nr 21 s. 889-893.

- [11] Bretsch J.: Intelligente Meßsysteme zur Automatisierung technischer Prozesse R.Oldenbourg Verlag München Wien 1979.
- [12] Müller W. i.in.: Flexible Handhabungsgeräte zur automatischen Werkstückvermessung. VDI-Z 125 /1983/ Nr 7, s.227-231
- [13] Dillman R.: A Sensor Controlled Gripper with tactile and non-tactile Sensor Environment. 2. Conf. on Robot Vision.
- [14] Hannenberg van den J.G; Vredenbregt J. Ein Versuchs - Montageroboter. etz Bd 103 /1982/ H.20, s.1146-1151.
- [15] Tschulena G.; Selders H.: Schlüsseltechnologien zur Sensorherstellung. tech. messen /50/ 1983 H.4, s.127-134.
- [16] Kempe V.: Sensortechnik für Industrieroboter 2. und 3. Generation. messen steuern regeln Bd.26 /1983/ Nr 1, s.10-18, Nr 2, s.95-99.
- [17] Protokół posiedzenia ekspertów krajów-członków RWPG w zakresie robotów przemysłowych. Moskwa, 16-20.01.1984.
- [18] Munzing H.Ch.: Distanz-Sensor für große Schaltabstände. etz Bd.103 /1982/ H.10, s.518-519.
- [19] Gairola A; Weißmantel H.: Handhabungstechnik mit taktilen Sensoren. etz Bd.103 /1982/ H.10, s.514-517.
- [20] Allan R.: Tactile sensing, 3-D vision, and more precise arm movements herald in industrial robots. Electronic Desing May 12, 1983, s.99-112.
- [21] Schweizer M.: Einsatz taktiler Sensoren an Handhabungsgeräten. technisches messen 47 /1980/ H.9, s.299-305.
- [22] Big system at John Deere solves new product problems The FMS magazine. Vol 1 No 1 Oct 1982, s.-16-19.
- [23] Gzik H. i.in. Vollautomatischer Industrieroboter - Arbeitsplatz zum Schweißen und Verschleifen von Blechteilen. VDI-Z 125 /1983/ Nr 7, s.223-225.
- [24] Abele E.: Adaptive controls for fettling of castings with IR.1 Conf. of. Robot Vision.

- [25] Abele E. Sensors for the adaptive control of fettling tasks with industrial robots. 2. Conf. on Robot Vision.
- [26] Heinz K.; Salwiczek P. Fachgebiete in Jahresübersichten: Montage - und Handhabungstechnik. VDI-Z 125 /1983/ Nr 5 s.155-166.
- [27] Becker E.: Sensoren als Automatisierungsmittel etz. Bd.104 /1983/ H 11, s.534-536.
- [28] Ossenberk K.: Sensortechnik für Industrieroboter etz Bd 194 /1983/ H 11, s.529-533.
- [29] Koller E.L.: Robotics. Electronics Nov.17, 1983, s.117-129.
- [30] Melchior K, Pavel G.: Automatisieren von Prüfvorgängen mit bildverarbeitenden Sensoren. tech. messen 50, Jg /1983/ H5, s.185-190, H6, s.225-231.
- [31] Iversen W.R.: Robot picks parts out of a bin. Electronics Vol.55 /1982/ No 24, s.50.
- [32] Tella R., Birk J.R, Kelley R.B.: General Purpose Hands for Bin-Picking Robots. IEEE Trans. on Systems, Mana and Cybernetics Vol. SMC-12 /1982/ No 6, s.828-837:
- [33] Eberhardt E., Mortel G.: Sensorausrüstung und Regelung von Greifern für Industrieroboter. VDI-Z 125 /1983/ Nr 5 s.143-149.
- [34] ASEA IRb Adaptive Torch Positioner for Arc Welding. Description CK 09-1207E aApril 1983.
- [25] ASEA Robot Vision. Description CK 09-1105E Aug. 1983.
- [36] Geißelmann H.: Optische Sensorsysteme schließen Automatisierungslücken Elektronik 31.Jg /1982/ Nr 13, s.134-141.
- [37] Timofejew A.W. Roboty i iskwstwenyj intellekt. Moskwa: Nauka 1978.
- [38] Kozak P.: Opracowanie wymagań i koncepcji rozwiązań czujnika dla adaptacyjnego robota IRb 6 do spawania łukowego. Sprawozdanie MERA-PIAP Nr rejstr. 5152