

Andrzej Kaczmarczyk, Hans Skoog
MERA PIAP Warszawa, ASEA AB Szwecja

ADAPTACYJNY ROBOT PRZEMYSŁOWY IRb

Streszczenie. W pracy opisano nowy typ robota IRb: adaptacyjny, który jest przystosowany do współpracy z czujnikami zewnętrznymi. Wymieniono trzy typy działań robota adaptacyjnego i zwrócono w związku z tym uwagę na możliwość nowych wariantów programowania. Przedstawiono jedno z zastosowań robota IRb - adaptacyjnego w Polsce, w ramach realizowanych przez MERA-PIAP.

W roku 1979 wchodzi do produkcji w Szwecji, a w roku 1980 - w wyniku współpracy naukowo-technicznej pomiędzy ASEA i MERA-PIAP - do produkcji i pierwszych zastosowań w Polsce nowy typ robota IRb: robot adaptacyjny. Jest to robot przystosowany do współpracy z czujnikami zewnętrznymi, wyposażony w zdolność do automatycznego przeprowadzania określonych korekcji zaprogramowanego działania w zależności od zmian w otaczającym środowisku, powodujących zmiany stanu czujników.

Obecnie są produkowane roboty IRb dwu rodzajów: o udźwigu 6 kg (IRb-6) i o udźwigu 60 kg (IRb-60). Obydwa roboty są podobnej budowy i mają, w zależności od wykonania 3 do 6 stopni swobody, napęd elektryczny, są sterowane za pomocą układu mikroprocesorowego i programowane metodą uczenia. Robot adaptacyjny zachowuje wszystkie te cechy i będzie produkowany, tak jak obecnie, w tych samych dwu wykonaniach o różnym udźwigu.

Schemat układu sterowania robota adaptacyjnego IRb przedstawiono na rys. 1. Robot może być wyposażony w czujniki w liczbie nie większej niż 8, przy czym na raz, w jednym programie można wykorzystać nie więcej niż 4 czujniki. Czujniki mogą być zainstalowane zarówno na ramieniu robota jak i na obiektach znajdujących się w jego otoczeniu i połączone przewodowo z odpowiednimi złączami znajdującymi się na ramieniu i w szafie sterowniczej robota. Mogą to być czujniki dowolnej budowy, mierzące dowolną wielkość fizyczną (potrzebną w danym, konkretnym zastosowaniu robota) i przetwarzające ją na dyskretny dwubitowy sygnał elektryczny. Poszczególne stany czujnika mają dla układu sterowania robota następujące znaczenie:

- 00 - strefa zerowa, korekcja nie jest potrzebna
- 01 - sygnał korekcji w kierunku przyjętym za ujemny
- 10 - sygnał korekcji w kierunku przyjętym za dodatni
- 11 - sygnał alarmu

Istnieją trzy zasadnicze typy działań robota adaptacyjnego IRb oparte na wprowadzaniu korekcji zależnie od stanu czujników: poszukiwanie, korek-

cja prędkości i konturowanie.

Poszukiwanie jest historycznie najwcześniejszym typem działania adaptacyjnego robota IRb. Już w obecnie produkowanych robotach można zaprogramować poszukiwanie przedmiotu znajdującego się w nieznanym miejscu na określonej trajektorii ruchu robota, oczywiście po wyposażeniu robota w odpowiedni czujnik o działaniu przekaźnikowym. Przy programowaniu robota trzeba uwzględnić opóźnienie między pojawieniem się sygnału z czujnika a zatrzymaniem się ramienia robota i odpowiadające temu opóźnieniu przemieszczenie ramienia. W robocie adaptacyjnym działania poszukiwawcze zostały znacznie udoskonalone i rozbudowane. W programowaniu robota istnieją cztery następujące funkcje adaptacyjne poszukiwania.

1. Poszukiwanie zgrubne (rys. 2). Pojawienie się sygnału korekcji z czujnika powoduje wysłanie sygnału kompensacyjnego do serwomechanizmów napędowych, przy czym wielkość kompensacji zależy od prędkości ruchu ramienia w chwili pojawienia się sygnału korekcji. Poszukiwanie zgrubne stosuje się oczywiście wtedy, gdy wystarczy odszukanie punktu mniej dokładne.
2. Poszukiwanie zgrubne z czasem zwłoki. Ten sposób poszukiwania stosuje się przede wszystkim wtedy, gdy chodzi o odnalezienie naroży zewnętrznych konturu o nierównych liniach brzegowych - np. nieobrobionego przedmiotu z wypływami materiału na ściankach. Ramię robota prowadzi wzdłuż brzegu czujnik, który generuje sygnał korekcji przy dostatecznie dużych przemieszczeniach prostopadłych do linii brzegowej. Aby wśród nierówności linii brzegowej wykryć naroże, wprowadza się czas zwłoki. Po upływie tego czasu ramię robota zatrzymuje się, albo też, jeśli to zostanie zaprogramowane, zatrzymuje i powraca do punktu, w którym pojawił się sygnał korekcji. Ten ostatni przypadek przedstawiono na rys. 3.
3. Poszukiwanie dokładne (rys. 4). Poszukiwanie dokładne różni się tym od zgrubnego, że działanie kompensacyjne trwa tutaj aż do zaniku sygnału korekcji z czujnika, czyli do wejścia robota w strefę zerową czujnika.
4. Poszukiwanie swobodne. Poprzednio przedstawione funkcje poszukiwania były realizowane z wykorzystaniem jednego tylko czujnika. Przy poszukiwaniu swobodnym może być aktywnych więcej czujników. Stosuje się ten sposób przede wszystkim do odnajdywania naroży wewnętrznych. Na rys. 5 przedstawiono schemat poszukiwania naroża wewnętrznego konturu z wykorzystaniem dwu czujników. Ruch poszukiwawczy jest zaprogramowany jako ruch korekcyjny o dwu składowych (programowanie ruchów korekcyjnych będzie omówione w punkcie dotyczącym konturowania) i w chwili jego rozpoczęcia obydwa czujniki wysyłają sygnały korekcji. Po napotkaniu jednej ze ścian jeden z sygnałów korekcji zanika i ustaje związany z nim ruch korygujący. Drugi ruch korekcyjny jest kontynuowany aż do wejścia drugiego czujnika w strefę zerową. Na rys. 5 nie uwzględniono przesterowań, wynikających z pojawienia się odpowiednich sygnałów kompensacji dopiero w chwili zaniku sygnału korekcji. Przesterowania takie mają

oczywiście miejsce, lecz przy odpowiednim doborze ruchów korekcyjnych mogą być niewielkie i są niwelowane przez elastyczność konstrukcji i zawieszenia czujnika /a także wyposażenia technologicznego robota/.

Korekcja prędkości znajduje zastosowanie przede wszystkim przy usuwaniu ze ścian obrabianego przedmiotu wypływów materiału lub występow pozostałych po obróbce mechanicznej /czyszczenie odlewów, gratowanie/(rys. 6). Gdy pojawi się sygnał korekcji - np. z czujnika wykrywającego przemieszczenie narzędzia^{x)} prostopadłe do powierzchni obrabianej, następuje generacja sygnału kompensacji, hamowanie i wycofanie narzędzia. Następnie ruch jest wznawiany ze zmniejszoną prędkością. Gdy sygnał korekcji zaniknie, to ruch ze zmniejszoną prędkością odbywa się jeszcze przez pewien czas zwłoki, a potem następuje automatyczny powrót do prędkości zaprogramowanej. Korekcja prędkości umożliwia stosowanie większych prędkości obróbki, dostosowanych do średniej wielkości naddatków materiału, które trzeba usunąć, a nie do największych wpływów, występujących rzadziej.

Konturowanie umożliwia ruch ramienia robota po konturze, którego kształt nie jest dokładnie znany w chwili programowania. Polega ono na tym, że do podstawowego, zaprogramowanego ruchu robota dodawane są ruchy korekcyjne. Ruch korekcyjny rozpoczyna się z chwilą pojawienia się sygnału korekcji i kończy, gdy sygnał korekcji zaniknie. Możliwe są przy tym ruchy korekcyjne wygenerowane przez sygnały z wielu czujników, w kierunkach dodatnich i ujemnych. Dany ruch korekcyjny, wywołany przez dany czujnik, odbywa się w określonym kierunku i z określoną prędkością. Parametry te - tzn. kierunek i prędkość - są programowane (podczas programowania ruchu podstawowego) przez określenie wektora korekcji związanego z danym czujnikiem. Wektor korekcji jest określany przez podanie dwu punktów oraz czasu przejścia między nimi. Podczas programowania naprowadza się robota na te punkty ręcznie, deklarując, który z nich jest początkowy, a który końcowy i podając czas przejścia jako argument funkcji adaptacyjnej. Na rys. 7 przedstawiono konturowanie zastosowane do prowadzenia narzędzia, przy czym czujnik wykrywa zmiany sił F z jaką narzędzie jest dociskane do przedmiotu obrabianego. Konturowanie umożliwia zarówno przesunięcia równoległe, jak i obroty elementów trajektorii rzeczywistej w stosunku do zaprogramowanej.

Dzięki wykorzystaniu opisanych typów działań adaptacyjnych oraz nowych wariantów programowania (nowych instrukcji nieadaptacyjnych), w jakie robot adaptacyjny jest wyposażony, możliwe jest automatyczne strojenie programów użytkowych. Polega ono na tym, że pierwotny program wprowadzany ręcznie jest programem "surowym". Podczas pierwszej realizacji tego programu - np. na przedmiocie będącym wzorem do obróbki - jest on automatycznie modyfikowany dzięki działaniom adaptacyjnym i w zmodyfikowanej postaci zapamiętywany. Zmodyfikowany program jest następnie automatycznie odtwarzany aż do

^{x)} Robot operuje narzędziem, zazwyczaj wirującym, wysokoobrotowym albo też narzędzie jest zamocowane na stałe, a robot operuje przedmiotem obrabianym.

chwili, gdy będzie potrzebna następna modyfikacja. Nowy wariant programowania robota adaptacyjnego, który jest potrzebny do automatycznego strojenia programów, oparty jest na wprowadzeniu nowej instrukcji: instrukcji zapamiętywania aktualnego położenia ramienia robota jako położenia wprowadzanego do programu (pozycjonowanego). Na rys. 8 przedstawiono przykład automatycznego strojenia programu ruchu po kontuarze. Punkt 1' zostaje znaleziony w wyniku poszukiwania rozpoczętego z punktu startowego w kierunku punktu 1. Punkt 2' zostaje określony w wyniku konturowania, punkt 3' w wyniku konturowania i poszukiwania naroża i punkt 4' znów w wyniku konturowania. Automatyczne strojenie programów użytkowych umożliwi skrócenie czasu programowania, gdyż można opracować tylko uproszczony program surowy oraz użycie tego samego programu surowego do obróbki - przede wszystkim spawania - części o zbliżonych, lecz różnych kształtach.

Jedną z pilotujących aplikacji robota adaptacyjnego w Polsce realizowanych przez MERA-PIAP będzie zastosowanie IRb-60 do czyszczenia odlewów. Na ramieniu robota będzie zainstalowana głowica szlifierska z wbudowanym urządzeniem pomiarowym. Schemat jednego z wariantów głowicy przedstawiono na rys. 9. Tarcza szlifierska (1) jest napędzana silnikiem hydraulicznym (2) o mocy kilkudziesięciu kW. Zespół silnik-tarcza zawieszony jest w korpusie (3) przytwierdzonym do ramienia robota. Zawieszenie jest zrealizowane za pomocą łożysk tocznych (4) w ten sposób, że zespół może wykonywać niewielkie ruchy kątowe względem korpusu wokół osi podłużnej, pokrywającej się z osią wirowania tarczy szlifierskiej. Przy przemieszczeniach kątowych podczas tych ruchów oddziaływa na zespół element sprężysty (5) umieszczony między zespołem a korpusem i przemieszczenie jest proporcjonalne do momentu działającego na tarczę podczas szlifowania. Przemieszczenie kątowe jest mierzone za pomocą czujnika tensometrycznego (półprzewodnikowego) (6) wbudowanego między korpus i zespół silnik-tarcza. Sygnał wyjściowy, proporcjonalny do momentu, jest przetwarzany w układzie elektronicznym do postaci dyskretnej, akceptowanej przez układ sterowania robota adaptacyjnego. Dyskretyzacja sygnału może być dokonywana za pomocą trzech elementów progowych w sposób przedstawiony na rys. 10. Prawa część rysunku przedstawia charakterystykę przetwarzania analogowego momentu M na sygnał elektryczny U a lewa - charakterystyki elementów progowych. Sygnałowi dyskretnemu 01 odpowiada stan $M < M_1$, w którym moment jest mniejszy od przyjętego za właściwy, tzn. obróbka jest za mało intensywna i potrzebna jest korekcja. Gdy wartość momentu wynosi $M_1 < M < M_2$, wydawany jest sygnał dyskretny 00 i korekcja nie jest potrzebna. Gdy moment osiąga wartość $M_2 < M < M_3$, co odpowiada sygnałowi dyskretnemu 10, potrzebna jest korekcja w kierunku zmniejszenia momentu. Wreszcie sygnał alarmu 11, gdy $M > M_3$, powoduje awaryjne wyłączenie napędów w celu zapobiegnięcia uszkodzeniom urządzeń.

W programach szlifowania opracowywanych dla konkretnych przedmiotów są wykorzystywane wszystkie rodzaje działań adaptacyjnych. Znaczenie podstawowe ma konturowanie i korekcja prędkości.

Jakie jest miejsce sterowania robota adaptacyjnego IRb z punktu widzenia przyjmowanych w dziedzinie sterowania adaptacyjnego klasyfikacji i określeń? Jak wiadomo [2], [3], [4], nie ma dotychczas powszechnie przyjętej, ścisłej definicji sterowania adaptacyjnego i na adaptacyjność sterowania patrzy się raczej jak na "sztukę, sposób myślenia i podejścia do problemów" [4]. Istotnym wyróżnikiem tego sposobu jest oczywiście fakt powiązania procedur sterowania z aktualnym, rzeczywistym stanem obiektu sterowanego i układu sterowania. Adaptacyjność sterowania robota IRb może być rozpatrywana jako adaptacyjność zbliżona do tej, którą wykazują układy o zadanym stanie końcowym; sterowanie realizowane w ciągu pewnego interwału czasowego ma tu na celu zapewnienie osiągnięcia pożądanych parametrów obiektu na koniec tego interwału (np. lądowanie samolotu). W przypadku wykonywania przez robota obróbki materiału - np. szlifowania przy czyszczeniu odlewów - adaptacyjność może być rozpatrywana podobnie jak adaptacyjność sterowania obrabiarek. Obecne funkcje adaptacyjne robota odpowiadają klasie systemów sterowania adaptacyjnego "ograniczeniowych" ACC^x). W systemach tych sterowanie ma na celu ekstremalizację wartości pojedynczych parametrów (np. prędkości posuwu) przy respektowaniu ograniczeń nałożonych na inne parametry. Nie jest jednak wykluczone, że przy użyciu funkcji adaptacyjnych będzie możliwe stworzenie procedur bardziej zaawansowanych, odpowiadających sterowaniu adaptacyjnemu optymalnemu ACO^{xx}), zapewniającemu ekstremalizację uogólnionych wskaźników (np. minimalizacja kosztów).

Na adaptacyjność można jeszcze spojrzeć w sposób specyficzny dla robotów, które nie są obrabiarkami, lecz przedstawiają sobą integralne obiekty o cechach antropomorficznych. W robocie IRb można wyróżnić dwa rodzaje adaptacyjności:

- 1) adaptacyjność punktowa, będąca zdolnością do znalezienia pewnego nieznanego punktu w przestrzeni, wykrywalnego przez czujniki (funkcje szukania),
- 2) adaptacyjność liniowa, będąca zdolnością do poruszania się po linii o nieznanym kształcie lub z prędkością nieznaną, zależnie od stanu otoczenia (konturowanie, korekcja prędkości).

Podsumowanie

Adaptacyjny robot przemysłowy jest bardziej uniwersalny i może być wyposażony w prostsze i mniej kosztowne oprzyrządowanie niż robot konwencjonalny. W pewnych zastosowaniach przemysłowych własności adaptacyjne umożliwiają skrócenie cyklu pracy. Programy dla robota adaptacyjnego mogą być krótsze i opracowywane z mniejszą dokładnością, a przy tym, w pewnym

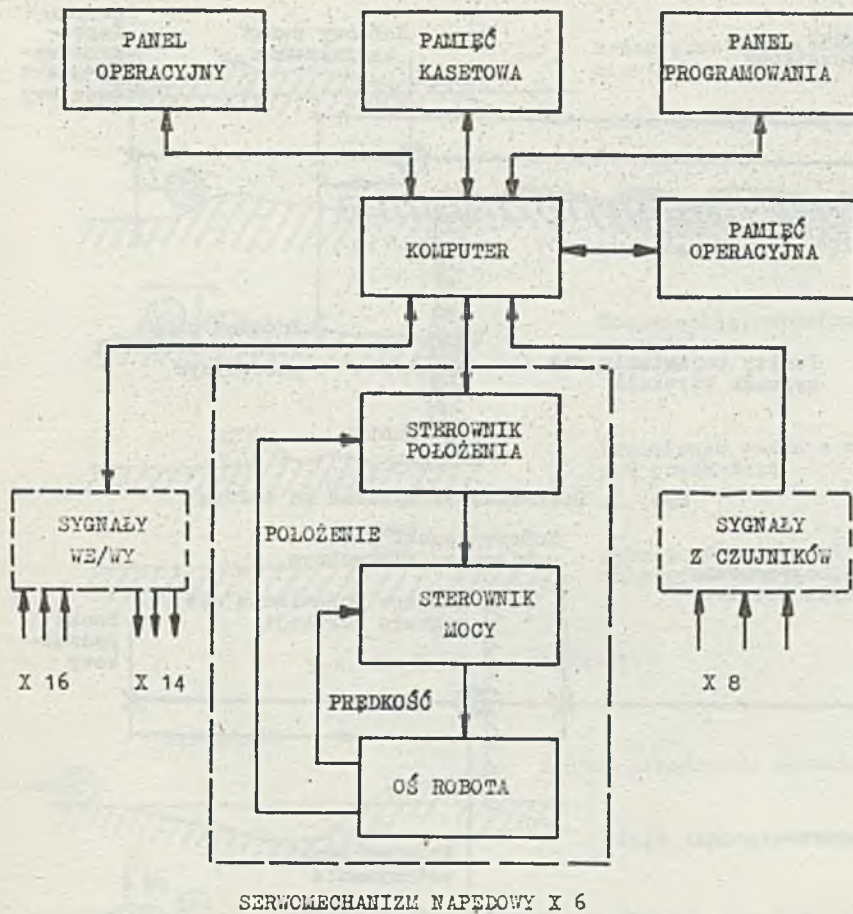
x) ACC = adaptive control for constraint

xx) ACO = adaptive control for optimization

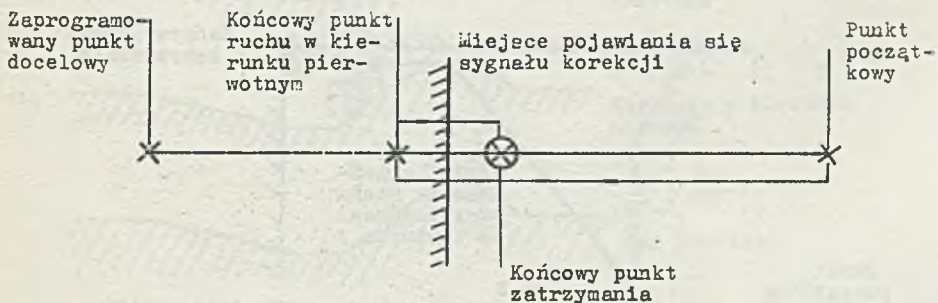
zakresie zmian położenia, wymiarów i kształtu obrabianych przedmiotów zmiany programu robota nie są potrzebne.

LITERATURA

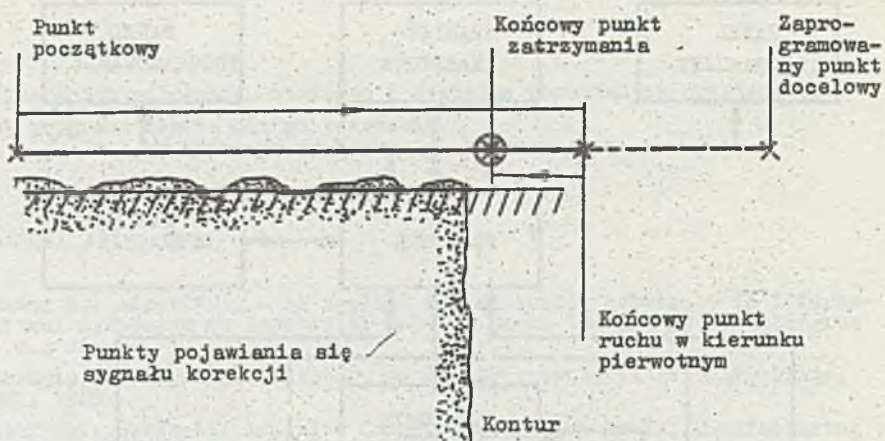
- [1] Skoog H.: Adaptivity - as applied to industrial robots, 9 th International Symposium on Industrial Robots, March 13-15, 1979, Washington D.C., USA.
- [2] Mishkin E., Braun L.: Adaptacyjne układy sterowania automatycznego, WNT, 1965.
- [3] Wick Ch.: Automatic Adaptive Control of Machine Tools, Manufacturing Engineering, September 1977.
- [4] Bar Shalom Y., Gershwin S.B.: Applicability of Adaptive Control to Real Problems - Trends and Opinions, Automatica IFAC, July 1978.



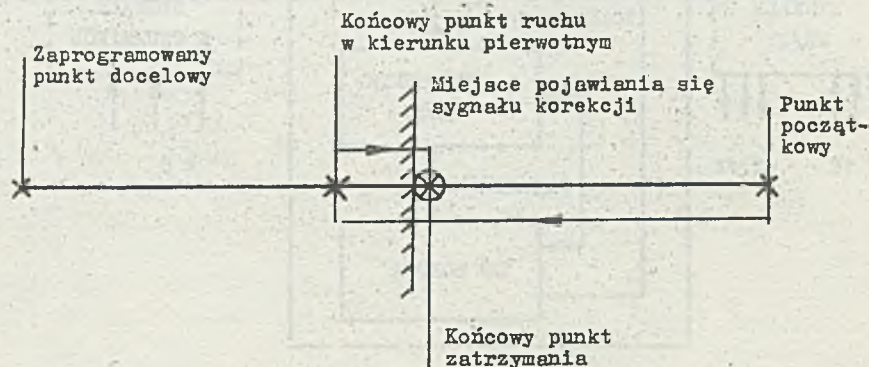
Rys. 1. Uproszczony schemat układu sterowania robota adaptacyjnego IRb



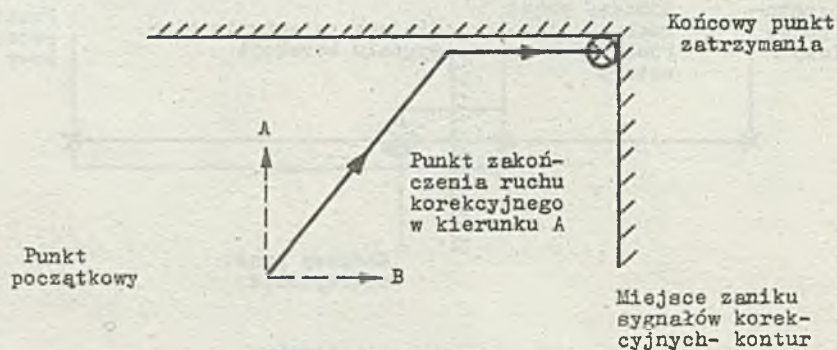
Rys. 2. Poszukiwanie zgrubne



Rys. 3. Poszukiwanie zgrubne ze zwłoką

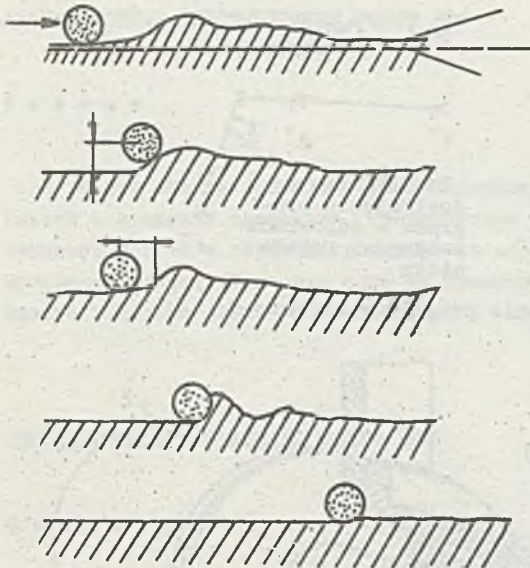


Rys. 4. Poszukiwanie dokładne



Rys. 5. Poszukiwanie swobodne

Narzędzie



Brzeg przedmiotu obrabianego

Linia zaprogramowana

Wykrycie przemieszczenia narzędzia - pojawienie się sygnału korekcji

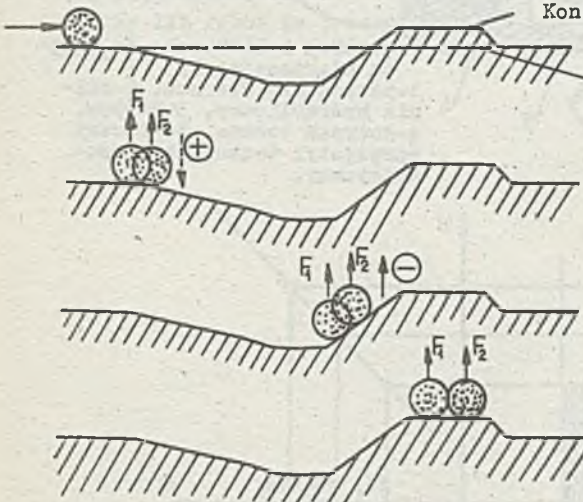
Kompensacja, wycofanie narzędzia

Wznowienie ruchu z mniejszą prędkością

Powrót do prędkości zaprogramowanej

Rys. 6. Korekcja prędkości

Narzędzie



Kontur przedmiotu obrabianego

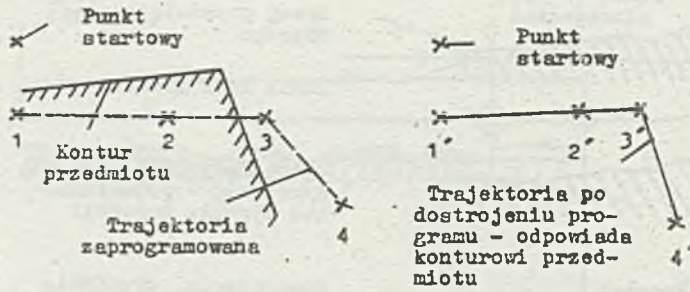
Linia zaprogramowana

$F_1 - F_2 = + P; P$;
Korekcja w kierunku dodatnim

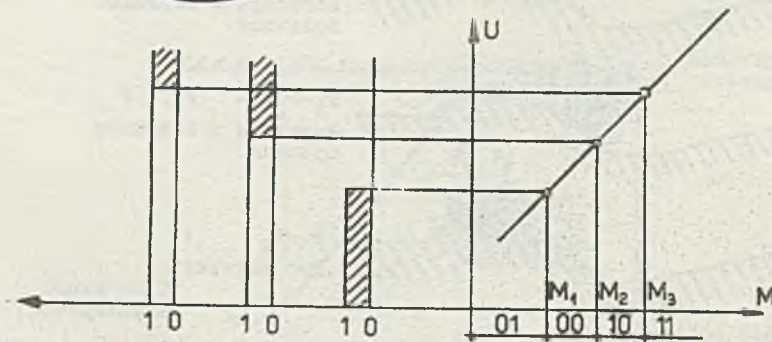
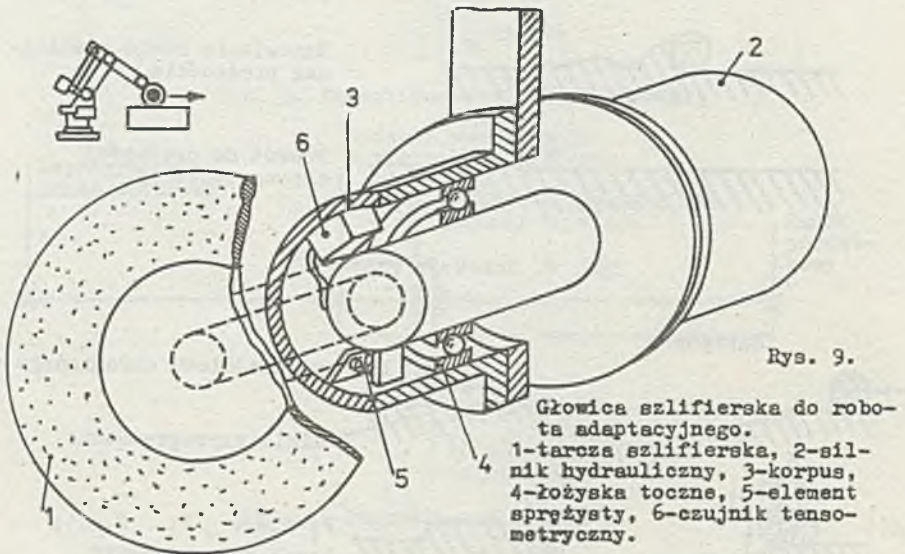
$F_1 - F_2 = - P; P$;
Korekcja w kierunku ujemnym

$F_1 - F_2$;
Bez korekcji

Rys. 7. Konturowanie



Rys. 8. Automatyczne strojenie programów użytkowych.



Rys. 10. Dyskretyzacja sygnału pomiarowego.

АДАПТАЦИОННИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ ИРБ

Р е з ю м е

. В работе описан новый тип адаптационного робота ИРБ, работающего вместе с внешними датчиками. Представлено три типа действия адаптационного робота и обращено внимание на возможности новых вариантов программирования. Показано одно из применений этого робота разработанного в Польше фирмой МЕРА ПИАП.

THE ADAPTIVE INDUSTRIAL ROBOT IRb

S u m m a r y

In the paper a new type of the adaptive IRb robot is described. The robot is fitted to cooperation with external sensors. Three types of the robots' actions are mentioned. Than the possibility of new programming variants application is underlined. An application of the IRb robot is presented, that is the one realised in Poland by МЕРА ПИАП.