

**XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN
I MECHANIZMÓW****11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES
AND MECHANISMS****27—30. 04. 1987 ZAKOPANE**Maciej GUZOWSKI
Andrzej KOWALSKIInstytut Mechaniki Precyzyjnej
w Warszawie**SYSTEM WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA ZROBOTYZOWANYCH STANOWISK -
PODSTAWOWE WYMAGANIA**

Streszczenie. Z dotychczasowych doświadczeń w dziedzinie zastosowań robotów przemysłowych wynika, że wąskim gardłem procesu wdrażania robotów jest faza projektowania stanowisk, gniazd i linii technologicznych obsługiwanych przez roboty. Szczególnie ważne jest przy tym rozwiązanie problemu modelowania zrobotyzowanych stanowisk i gniazd technologicznych oraz automatycznego tworzenia programów dla robotów na podstawie opisu stanowiska (gniazda) i opisu procesu technologicznego. W Instytucie Mechaniki Precyzyjnej rozpoczęto prace nad systemem wspomaganie projektowania zrobotyzowanych stanowisk, który ma pozwolić na: wprowadzenie danych i przedstawienie graficzne urządzeń wchodzących w skład stanowiska, opisanie procesu przebiegającego na stanowisku, zamodelowanie pracy stanowiska, weryfikację rozmieszczenia urządzeń i opisu procesu, opracowanie dokumentacji technicznej oraz wygenerowanie i optymalizację trajektorii ruchu robota. W referacie przedstawiono założenia takiego systemu, precyzujące wymagania, jakie przed nim stawiamy.

1. Wstęp

System ma za zadanie wspomagać projektanta stanowisk (gniazd, linii) produkcyjnych wyposażonych w roboty przemysłowe - technologa, w trakcie opracowywania koncepcji zrobotyzowanego stanowiska, analizy techniczno-ekonomicznej tej koncepcji i przy tworzeniu wstępnej dokumentacji technicznej stanowiska. Obszar działania systemu nie obejmuje projektowania specjalnego wyposażenia urządzeń wchodzących w skład stanowisk, tzn. np. chwytaków, przyrządów do obrabiarek, przyrządów mocujących itp., ani optymalizacji doboru tych urządzeń do konkretnej technologii i przedmiotu. Procesy, których projektowanie ma być wspomagane, to: transport, malowanie,

opawanie i zgrzewanie. Pojęcie "transport" rozumiane jest tu jako każdy proces przenoszenia przedmiotu przez robot z jednego urządzenia na inne. Zakłada się, że użytkownikami systemu będą także osoby, które mogą nic nie wiedzieć o zasadach funkcjonowania komputera.

System ma pracować na komputerze IBM PC AT lub kompatybilnym, wyposażonym w monitor kolorowy z grafiką o podwyższonej rozdzielności (E.G.A.), mysz i ewentualnie tablet oraz plotter (na razie formatu A3).

Dialog użytkownika z komputerem, będzie odbywać się, w miarę możliwości, bez używania klawiatury - za pomocą myszy lub tabletu, menu w rozwinięciach, ikon i okien. W każdej z faz pracy z systemem powinien on sugerować użytkownikowi: właściwą kolejność postępowania, możliwości, jakie ma do wyboru, sposoby poprawiania błędów, itp. Rezultaty działań użytkownika i wyniki operacji wykonywanych przez system samodzielnie powinny być prezentowane na ekranie komputera na bieżąco i w możliwie skondensowanej formie.

2. Ogólny opis działania systemu

W pracy systemu wyróżnić można trzy fazy. Pierwszą z nich to wprowadzenie przez użytkownika informacji wejściowej o projektowanym stanowisku. Obejmuje ona:

- definiowanie obiektów wchodzących w skład stanowiska, których nie zawiera biblioteka systemu,
- określenie wzajemnego, przestrzennego rozmieszczenia obiektów (zaprojektowanie na ekranie komputera kompozycji stanowiska),
- opisanie procesu, który ma być wykonywany na stanowisku (czynności wykonywanych przez obiekty),
- opisanie przedmiotu (-ów), na którym wykonywany ma być proces.

Trójwymiarową i dwuwymiarową (w rzutach) reprezentację graficzną poszczególnych obiektów i przedmiotu oraz stanowiska w całości można będzie obejrzeć na ekranie monitora. Możliwa będzie zmiana skali obrazu (powiększenie i zmniejszenie) oraz dla obrazu trójwymiarowego zmiana punktu obserwacji. W tej fazie powstaną modele kinematyczne i geometryczne nowo definiowanych obiektów oraz model geometryczny stanowiska. Na podstawie tego modelu oraz opisu procesu i przedmiotu utworzony będzie automatycznie program pracy stanowiska.

W drugiej fazie przeprowadzona będzie symulacja działania stanowiska, wykorzystująca zbudowany w pierwszej fazie model i program pracy stanowiska. Uwzględniane będą przy tym niektóre atrybuty funkcjonalne obiektów, jak: maksymalne prędkości i przyspieszenia, czasy wykonywania poszczególnych ruchów oraz ograniczenia geometryczne (zasięgi ruchów, maksymalne przemieszczenia, itp.). Analiza współdziałania obiektów prowadzona będzie przez system na wewnętrznym, "dokładnym" modelu geometrycznym stanowiska,

a użytkownik będzie mógł obserwować przebieg procesu na graficznym, "zgrubnym" ze względu na rozdzielność, modelu stanowiska na ekranie komputera. Będzie to obraz trójwymiarowy lub dwuwymiarowy. Możliwe będzie obserwowanie kolejnych etapów procesu, odległych o określony odstęp czasu, albo na bieżąco, w miarę ich generowania, albo "nakręcenie" swego rodzaju "filmu" poprzez zgromadzenie kolejnych obrazów etapów procesu w pamięci systemu i następnie obejrzenie przebiegu procesu w całości, od początku do końca. Możliwe będzie także powiększanie segmentów obrazu i obserwowanie ich w trakcie przebiegu symulowanego procesu, zmiana punktu obserwacji, itp. Jednak obserwacja przebiegu procesu na ekranie będzie tylko czynnikiem pomocniczym w analizie projektowanego stanowiska. Główne zadania w tym zakresie wykonywane będą przez system. Podczas symulacji badane będą następujące zagadnienia: możliwości geometrycznego współdziałania obiektów (głównie chodzi tu o możliwości osiągnięcia przez robota zadanych położeń względem innych obiektów), możliwości powstania kolizji między obiektami, poprawność opisu procesu (wprowadzonego przecież przez projektanta), czasy wykonywania poszczególnych czynności i procesu w całości, itp. Stwierdzenie jakiegokolwiek nieprawidłowości sygnalizowane będzie stosownym komunikatem zawierającym, w miarę możliwości, sugestie dla operatora co do przyczyny i możliwości usunięcia błędu. Po odpowiednim skorygowaniu informacji wejściowej (jak dla fazy pierwszej) i uzyskaniu zadowalającego przebiegu symulacji możliwe będzie przejście do trzeciej fazy - tworzenia dokumentacji technicznej. Będzie ona obejmować następujące elementy:

- rysunki techniczne stanowiska w rzutach ze specyfikacją jego elementów i podstawowymi wymiarami dotyczącymi wzajemnego rozmieszczenia obiektów,
- schematy ideowe i montażowe łącz między obiektami,
- oraz program dla urządzenia sterującego stanowiskiem.

3. Wprowadzanie informacji wejściowych (faza I)

A. Modele geometryczne obiektów, uwzględniające dla części ruchomych kinematykę, konstruowane będą przez użytkownika z brył podstawowych, zdefiniowanych w menu edytora graficznego. Będzie możliwe określanie poszczególnych wymiarów tych brył (przy zachowaniu typu kształtu) oraz rodzaju połączenia z inną bryłą (stałe, ruchowe: obrotowe lub postępowe), położenia tego połączenia względem pewnych powierzchni bazowych i granicznych przemieszczeń. Następnie użytkownik będzie mógł "złączyć" obiekt z określonych wcześniej brył.

B. Pozostałe atrybuty obiektu: funkcjonalne i instalacyjne, o które system będzie pytać użytkownika, gdy ten zdefiniuje nazwę obiektu - klasę, do jakiej obiekt należy (np. robot, podajnik, itp.).

C. Ze zdefiniowanych już obiektów tworzone będzie biblioteka systemu.

D. Model geometryczny stanowiska budowany będzie przez użytkownika drogą "ustawiania" zdefiniowanych przez niego lub wybranych z biblioteki obiektów w odpowiednich miejscach na tej części ekranu, która reprezentuje przestrzeń zajmowaną przez projektowane stanowisko.

E. Sposób opisu geometrycznego przedmiotu zależny będzie od typu procesu wykonywanego na stanowisku. Ogólnie można powiedzieć, że ważne będą, dla procesu:

- transportu: gabaryty i miejsce chwytania,
- spawania i zgrzewania: linie (i dla zgrzewania punkty na tych liniach) wykonywania operacji oraz ewentualnie wycinki płaszczyzn ograniczające dostęp do tych linii, a także miejsce mocowania,
- malowania: powierzchnie, ich kształty i wielkości oraz, jak wyżej, ograniczenia dostępu i miejsce mocowania.

F. Z obiektami lub operacjami związane są czujniki, których typ i miejsce zainstalowanie powinny być określone automatycznie przez system i wykorzystane przy tworzeniu schematów ideowych i montażowych łącz.

4. Symulacja (faza II)

A. Program pracy stanowiska tworzony będzie na podstawie opisu procesu oraz modelu geometrycznego stanowiska i przedmiotu w postaci tzw. "pośredniej" zawierającej sekwencje rozkazów ruchów dla poszczególnych obiektów (głównie robota) względnie rozkazów włączenia (wyłączenia) obiektów lub elementów obiektów, np. spawarki, zgrzewarki, chwytaka robota itp. oraz rozkazów sprawdzenia stanu odpowiednich czujników. W trzeciej fazie pracy systemu postać pośrednia tłumaczona będzie na odpowiedni program dla urządzenia sterującego stanowiskiem, stosowny do typu urządzenia. Ponieważ zwykle stanowiskiem steruje układ sterowania robota, przyjmujemy na razie, że możliwe będzie tłumaczenie na programy dla układów sterowania kilku typowych robotów. Postać pośrednia będzie dostępna dla użytkownika systemu.

B. Rozkazy ruchowe dla obiektów innych niż robot będą bardzo proste i nie wynikające z rozmieszczenia obiektów w stanowisku lub kształtu przedmiotu, ze względu na ograniczone możliwości przemieszczania się części ruchomych tych obiektów. Zwykle są to proste przesunięcia z jednej pozycji w drugą, przy czym pozycje te określane są na drodze mechanicznej, np. dla podajnika lub stołu obrotowego, albo ruchy jednokierunkowe ze stałą prędkością, np. taśmociągu. W szczególności rozkazy ruchowe tych obiektów nie będą zawierały parametrów geometrycznych, np. położenia, jakie ma osiągnąć element ruchomy obiektu w rezultacie wykonania rozkazu.

C. Rozkazy ruchowe dla robota będą utworzone z uwzględnieniem geometrii stanowiska i przedmiotu. Opis procesu, stanowiska i przedmiotu będzie podstawą do wygenerowania przez system trajektorii ruchu punktu charakterystycznego narzędzia robota (chwytaka, pistoletu malarskiego, itp.), zapewniającej wykonanie zadania. Trajektorija składać się będzie z pewnych ruchów elementarnych, określanych przez typ ruchu (czasooptymalny, po prostej, po łuku), położenie docelowe i w razie potrzeby dodatkowe parametry (prędkość, promień, środek łuku, itp.). Zawartym w opisie procesu poszczególnym operacjom, których wykonawcą ma być robot, odpowiadać będzie prawie zawsze kilka rozkazów ruchowych, np. operacja przeniesienia przedmiotu z podajnika do obrabiarki składać się powinna z trzech ruchów: wyjęcia przedmiotu z podajnika, przemieszczania go w odpowiednie sąsiedztwo obrabiarki i włożenia go w gniazdo obrabiarki. Typ i parametry rozkazów ruchowych związanych z operacjami technologicznymi wykonywanymi bezpośrednio przez robota na przedmiocie (zgrzewanie, spawanie, malowanie) wynikać będą z opisu przedmiotu i położenia przedmiotu względem robota, określanego przez położenie przedmiotu względem obiektu, do którego przedmiot jest zamocowany i położenie tego obiektu względem robota. Przemieszczenia transportowe (zasadnicze w procesie transportu, a pomocnicze w pozostałych procesach) wykonywane będą jako ruchy czasooptymalne, z położeniami docelowymi wynikającymi z rozmieszczenia obiektów w stanowisku. Zakłada się, że o ile będzie to możliwe ze względu na nakłady obliczeniowe, trajektorija ruchu narzędzia będzie generowana z uwzględnieniem przeszkód, które występują w stanowisku lub przedmiocie.

D. Dla procesu malowania trajektorija ruchu pistoletu optymalizowana będzie stosownie do kształtu powierzchni malowanej, parametrów strumienia farby oraz wymagań jakości i grubości powłoki.

E. Na podstawie programu pracy stanowiska (postaci pośredniej) generowane będą, podczas symulacji, kolejne fazy ruchów elementów ruchomych wszystkich obiektów stanowiska, z uwzględnieniem dopuszczalnych prędkości, przyspieszeń, czasów ruchu.

F. Wszelkie kolizje (obecność w tej samej chwili, w tym samym obszarze przestrzeni, różnych elementów obiektów lub elementów obiektów i przedmiotu) będą sygnalizowane.

G. W każdej kolejnej fazie ruchu sprawdzona będzie możliwość osiągnięcia przez typ robota, zastosowany w stanowisku, zadanych, wynikających z wygenerowanej trajektorii, położzeń i prędkości narzędzia. Problem prędkości odnosi się do ruchów, których trajektorija wynika z kształtu przedmiotu i technologii (spawania, malowania).

H. Sygnalizowane będą stany wszystkich czujników występujących w stanowisku.

I. Możliwe będzie symulacyjne wykonywanie programu pracy stanowiska krokowo, rozkaz po rozkazie.

5. Opracowanie dokumentacji technicznej (faza III)

A. Schematy ideowe i montażowe połączeń między obiektami tworzone będą na podstawie opisu procesu i stanowiska z uwzględnieniem atrybutów instalacyjnych poszczególnych obiektów oraz rozmieszczenia i atrybutów instalacyjnych czujników występujących w stanowisku.

B. Program dla urządzenia sterującego stanowiskiem tworzony będzie z postaci pośredniej programu pracy stanowiska, dla każdego typu urządzenia sterującego |za pomocą innego translatora.

6. Zadania do rozwiązania

Wśród zagadnień, które wymagają rozwiązania przy tworzeniu systemu wspomagania projektowania zrobotyzowanych stanowisk, można generalnie wyróżnić dwie grupy:

- problemy, których algorytm rozwiązania jest znany lub podobny do znanych i zadanie sprowadza się do napisania odpowiednich segmentów programowych,
- problemy wymagające rozpracowania teoretycznego, opracowania założeń rozwiązania, sposobów i algorytmów, a dopiero na ich podstawie - programów.

Do zadań pierwszej grupy zaliczamy:

A. Obsługę urządzeń WE/WY - interfejsy programowe, biblioteki dla: myszy, tabletu, plottera oraz karty grafiki E.G.A.

Programy obsługi powinny być skonstruowane tak, by:

- wykorzystywały wewnętrzną inteligencję urządzenia (jeśli istnieje) i wszystkie tkwiące w nim możliwości funkcjonalne,
- pozwalały na łączenie ich z segmentami napisanymi w różnych językach, także wysokiego poziomu.

B. Grafikę trój- i dwuwymiarową:

- reprezentację graficzną obiektów składających się z brył podstawowych,
- manipulację obiektami: przesunięcia, obroty,
- skalowanie (powiększanie, zmniejszanie) całości i fragmentów obrazu,
- zmianę punktu obserwacji,
- wymazywanie linii i powierzchni niewidocznych.

C. Obliczenia kinematyczne - proste i odwrotne - dla robota i innych urządzeń, w razie potrzeby:

- tworzenie modelu kinematycznego na podstawie modelu geometrycznego,
- generowanie trajektorii ruchów elementarnych: końcówki robota oraz głównych elementów ruchomych innych obiektów,

- obliczanie, na podstawie modelu kinematycznego i położenia końcówki robota (dla innych obiektów - głównego elementu ruchomego) - położenia innych ruchomych brył obiektu.

D. Badanie przekroczenia ograniczeń kinematycznych i geometrycznych: dopuszczalnych przyspieszeń, prędkości, zasięgów ruchów, maksymalnych przemieszczeń, itp.

E. Badanie kolizji. Ogólna zasada: nigdy żaden fragment obiektu czy przedmiotu ani ich elementu nie może zajmować tego samego obszaru przestrzeni co inny fragment obiektu, przedmiotu czy ich elementu.

F. Animacja - tworzenie "filmu" komputerowego, prezentującego cały przebieg symulowanego procesu, odbywającego się w stanowisku.

G. Tworzenie rysunku technicznego stanowiska.

H. Rysowanie schematu ideowego i montażowego łącz.

Problemy drugiej grupy to:

A. Ogólna organizacja systemu.

B. Komunikacja systemu z użytkownikiem.

C. Baza danych systemu: organizacja, zawartość, sposoby dostępu itp.

D. Edytor graficzno-tekstowy, do wprowadzania informacji wejściowej.

E. Budowanie modeli geometrycznych obiektów i stanowiska.

F. Język opisu procesów wykonywanych na zrobotyzowanych stanowiskach.

G. Zasady i sposoby opisów przedmiotów.

H. Biblioteka systemu: zawartość, sposób wykorzystywania.

I. Czujniki: typy, przyporządkowanie obiektom lub operacjom, rozmieszczenie.

J. Systemy bezpieczeństwa: reguły, sposoby opisu, rozmieszczenie.

K. Program pracy stanowiska.

L. Symulacja pracy stanowiska.

Ł. Opis połączeń w stanowisku.

M. Programy dla urządzeń sterujących stanowiskiem.

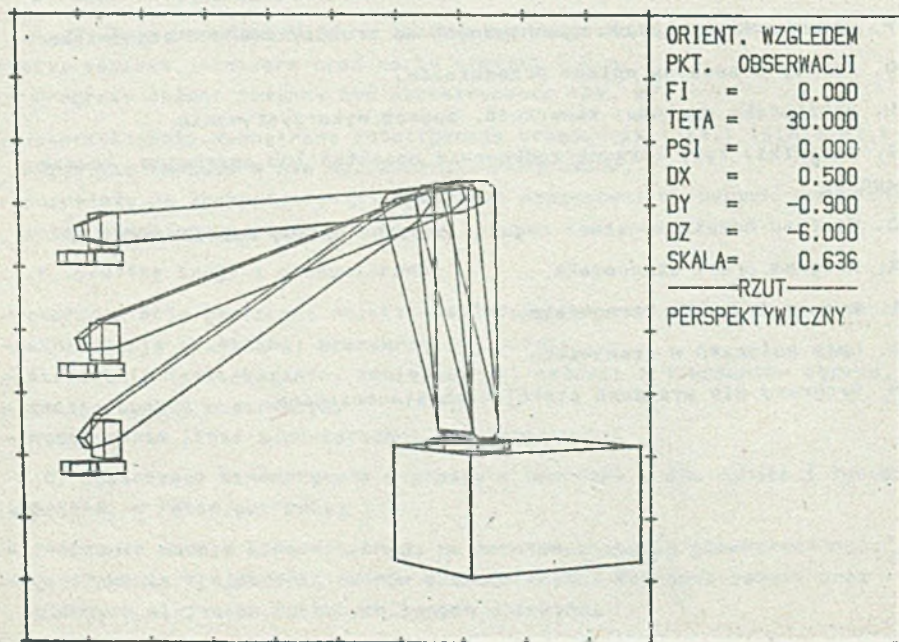
DODATEK A. Podstawowe pojęcia używane w systemie

Podstawowe pojęcia używane w przedstawionym systemie wspomagania projektowania zrobotyzowanych stanowisk:

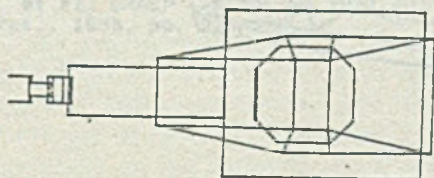
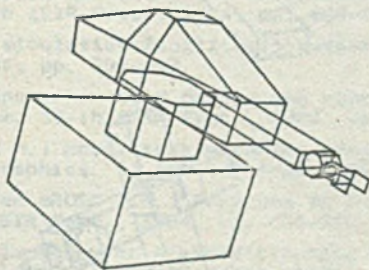
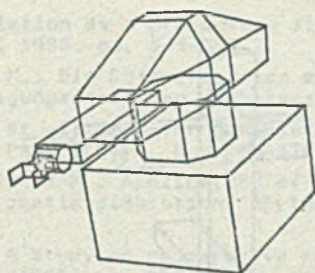
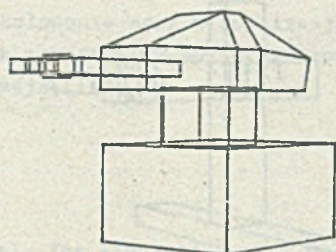
1. Proces - proces technologiczny wykonywany przez robota przemysłowego lub za pomocą robota przemysłowego.
2. Stanowisko - stanowisko, gniazdo lub linie produkcyjne wyposażona w roboty przemysłowe.
3. Obiekt - urządzenie lub jego element, wchodzące w skład stanowiska uczestniczące czynnie lub biernie (np. jako przeszkoda) w procesie.
4. Przedmiot - detal, na którym wykonywany jest proces (np. przedmiot przenoszony przy transporcie).
5. Czujnik - urządzenie, którego zadaniem jest stwierdzenie, czy określona sytuacja zaistniała, czy nie albo zmierzenie określonej wielkości fizycznej.
6. Łącze - linie transmisji informacji lub energii między obiektami albo czujnikami.

DODATEK B. Wyniki wstępnych prac; nad systemem - rzuty perspektywiczne robotów

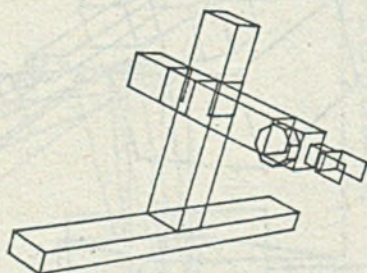
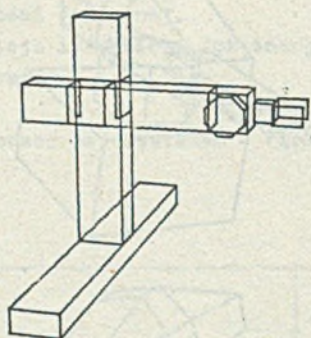
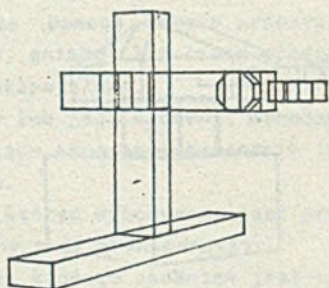
1. Robot RIMP-901



2. Robot RIMP-1000



3. Robot AM-80



DODATEK B

Na załączonych rysunkach przedstawiono wyniki wstępnych prac nad systemem. Są to modele geometryczne robotów RIMP-901, RIMP-1000 i AM-80, uzyskane za pomocą napisanego w TurboPascalu pakietu graficznego, wykorzystującego bibliotekę Turbographics. Pakiet ten pozwala na zmianę pozycji obserwatora, skalowanie oraz wizualizację ruchu robota w kolejnych fazach ruchu. Rysunek robota RIMP-901 przedstawia trzy fazy ruchu po prostej ze stałą orientacją.

LITERATURA

- [1] BONNEY M.C. et al: The simulation of I.R. systems. Omega, 3/1984, pp. 273-281.
- [2] CARLIER J.: Simulation as a production planning tool for an FMS. 16-th ISIR Proc., 1986, pp. 549-555.
- [3] DILLMAN R., HUCK M.: Ein Softwaresystem zur Simulation von roboter-gestuetzten Fertigungsprozessen. Robotersysteme, 2/1985, pp. 87-98.
- [4] HEGINBOTHAM W.B. et al: Computer graphics simulation of I.R. interactions. 7-th ISIR Proc., 1977, pp. 169-176.
- [5] HOFFMAN R.M., HERBERT M.: Application of high - performance graphics workstations in robotic simulation. 16-th ISIR Proc., 1986, pp. 775-784.
- [6] KAKAZU Y. et al: A Study on cooperative robot motion simulator. 15-th ISIR Proc., 1985, pp. 691-698.
- [7] KATAJAMÄKI M., KANERVA J.: CAD/CAM - Revolutionizing robot applications design. 14-th ISIR Proc., 1984, pp. 689-700.
- [8] NOVAK B.: Robotic simulation facilitates assembly line design. Simulation, 12/1984, pp. 298-299.
- [9] QUEROMES J.G.: Computer - aided design and robotics: a full of promise cooperation. 12-th ISIR Proc., 1982, pp. 185-195.
- [10] SJOLUND P., DONATH M.: Robot task planning. Programming using interactive computer graphics. 13-th ISIR Proc., 1983, pp.
- [11] SOLAND E.J., van den BROEK J.A.: Progress in CAD - tools for robot based FMS. 14-th ISIR Proc., 1984, pp. 701-710.
- [12] WARNECKE H.J. et al: Computer - aided planning of I.R. application in workpiece handling. 11-th ISIR Proc., 1981, pp. 349-359.
- [13] YONG Y.F. et al: GRASP - A design tool for FMS. 2-nad Intern. Confer. on FMS Proc., 1983, pp. 215-228.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МЕСТ
- ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Р е з ю м е

Из существующих опытов в области применения промышленных роботов следует, что фаза проектирования рабочих мест, участков и автоматических линий, обслуживаемых промышленными роботами, это узкое место в процессе внедрения роботов. Очень важным является решение проблемы моделирования роботизированных мест, технологических участков и автоматического приготовления программ для роботов на базе описания мест (участков) и технологического процесса.

Институтом Прецизионной Механики ведутся работы по САПР роботизированных мест, позволяющей на: графическое изображение устройств, входящих в состав рабочего места, описание технологического процесса, моделирование работы места, верификацию размещения устройств и описание процесса, разработку технической документации, а также планирование и оптимализацию траектории движения робота.

В реферате представлены технические требования САПР роботизированных процессов.

CAD SYSTEM FOR DESIGNING ROBOTIZED STANDS
- THE BASIC REQUIREMENTS

S u m m a r y

Hitherte experience in the industrial robots shows that the most difficult stage in the robot application process is the phase of the design of stands, workcells and technological lines served by robots. Particularly important is modelling the robotized stands and workcells, and automatical formulation of Precision Mechanics the works on CAD system for designing robotized stands have been started; the system is going to allow for: data introduction and graphic display of devices included in a stand, process description, simulation of a stand work, verification of devices arrangement and the process description, technical documentation elaboration and planning and optimalization of robot movement path.

The basical requirements of this CAD system are given.

Recenzent: Prof. zw. dr inż. Adam Morecki

Wpłynęło do redakcji: 7.XI.1986 r.