

## XIII MIĘDZYNARODOWE KOŁOKWIUM

"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON

"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Dariusz STRZELCZYK

Maciej GUZOWSKI

Instytut Mechaniki Precyzyjnej

Warszawa

SYMULACJA KINEMATYKI ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH Z WYKORZYSTANIEM  
GRAFIKI KOMPUTEROWEJ

Streszczenie. W referacie opisano własności i sposób działania programu komputerowego ROBOT-SYMLATOR.

Omówiono podstawowe bloki programu ich możliwości oraz przewidywane zastosowania i wyniki wstępnych testów.

1. Wstęp

Z roku na rok rosną możliwości robotów przemysłowych. Rośnie również złożoność stawianych im zadań oraz postępuje komplikacja linii produkcyjnych. Fakty te stawiają wysokie wymagania technologom pragnącym wykorzystać te skomplikowane urządzenia w procesie produkcyjnym. Trudno jednak oczekiwać, aby każdy zakład stosujący roboty przemysłowe zatrudniał specjalistów z zakresu robotyki, zajmujących się instalacją i oprogramowaniem robotów. Dla ułatwienia rozwiązywania tych zadań opracowuje się programy komputerowe wspomagające prace technologów i projektantów. Programy te służą głównie do symulacji pracy robotów na stanowisku oraz do szacowania parametrów mówiących o wydajności i efektywności proponowanych rozwiązań. Podczas symulacji komputerowej możliwa jest tania i szybka weryfikacja błędów koncepcji oraz optymalizacja wydajności pracy stanowiska zrobotyzowanego. Istnieje dwa typy programów symulujących prace robotów. Pierwsze z nich to programy specjalizowane, dostosowane do jednego typu robota lub pewnej ich klasy. Programy te powstają najczęściej przy okazji produkcji danego robota. Uwzględniają szczególne własności symulowanego urządzenia i mają duży stopień zbieżności rzeczywistości z symulacją. Takie rozwiązanie oznacza związek użytkownika z określonym typem robota i nie daje możliwości porównań. Przykładem takiego systemu jest system ARLA opisany w pracy [1] przystosowany do symulacji robotów firmy ASEA oraz system IRENE opisany w [2] służący do symulacji robota PUMA.

Druga rodzina programów opisana w pracach od [3] do [11] stara się ująć problemy bardziej ogólnie. Programy te pozwalają symulować pracę wielu typów robotów i urządzeń. Niezależnie to użytkowników od konkretnego producenta robotów i umożliwia zbadanie stanowiska z robotami różnego typu. Jak potwierdzają eksperymenty, uzyskiwana w takich systemach zgodność symulacji z rzeczywistością jest zadowalająca. Należy przy tym pamiętać, że i tak ostateczna weryfikacja następuje w obu przypadkach na rzeczywistym stanowisku. Opracowany przez nas program komputerowy umożliwia podejście ogólne, czyli symulację dowolnego robota o otwartym łańcuchu kinematycznym w zaprojektowanym otoczeniu. Doskonale nadaje się on do dydaktyki oraz do wstępnych prac przy projektowaniu robotów i stanowisk zrobotyzowanych. Z analizy istniejących systemów wspomaganie projektowania stanowisk zrobotyzowanych wynika, że oprócz symulatora w skład systemu powinny wchodzić inne programy służące do budowy nowych modeli robotów i urządzeń oraz do programowania zadania, które ma być wykonane na stanowisku. Również program ROBOT-SYMULATOR jest elementem składowym większego systemu, w skład którego wchodzi:

- edytor graficzny służący do budowy obiektów;
- edytor i kompilator języka programowania robotów;
- specjalizowana baza danych.

## 2. Główne informacje o programie ROBOT-SYMULATOR

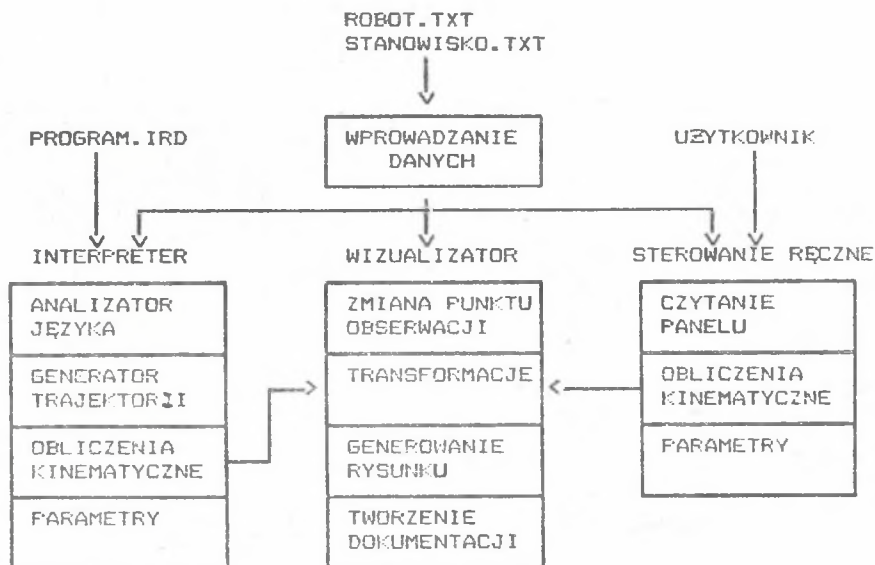
Program może być stosowany na komputerach zgodnych z IBM PC/XT/AT wyposażonych w 640 KB pamięci operacyjnej oraz kartę grafiki EGA. Możliwości programu w pełni wykorzystywane są wówczas, gdy dodatkowo zostanie zainstalowana mysz elektroniczna MSMOUSE lub digitizer oraz drukarka graficzna i ploter (DXY). Koncepcja obsługi oparta jest na interakcyjnej pracy użytkownika z programem. Na ekranie ukazuje się zestaw piktogramów reprezentujących dostępne w danym momencie funkcje, a użytkownik wskazuje je kursorem sterowanym z klawiatury, myszy lub digitizera. W ten sposób dokonywany jest wybór trybu działania. Program ma wielopoziomową kontrolę poprawności wykonywanych przez operatora czynności oraz sprawdza poprawność wprowadzanych danych.

### 3. Budowa programu

Podstawowe bloki funkcjonalne programu przedstawia rys.1.

#### 3.1. Wprowadzanie danych

Dane dla programu zgromadzone są w dwu zbiorach. W pierwszym znajdują się dane opisujące robota. Złożone są one z dwu części. W pierwszej zawarty jest opis geometrii brył składających się na poszczególne elementy robota. Każda z brył jest wielościanem opisanym przez liczby określające położenia wierzchołków, połączenia między nimi oraz utworzone ściany. W drugiej części umieszczone są tabele definiujące kinematykę robota według schematu Denavita-Hartenberga i dane dla generatora trajektorii, czyli parametry ruchu robota. W drugim zbiorze znajduje się opis stanowiska, czyli definicja geometrii poszczególnych brył tworzących otoczenie oraz tabela rozmieszczenia tych brył na stanowisku. Blok wczytujący dane przeprowadza kontrolę ich poprawności i generuje odpowiednie struktury danych.



Rys.1. Schemat blokowy programu ROBOT-SYMULATOR.

Fig.1. Block diagram of the ROBOT-SYMULATOR program.

### 3.2. Wizualizator

Blok wizualizatora to zestaw procedur służących obliczeniom geometrycznym oraz procedur graficznych. W skład tego bloku wchodzi cztery moduły:

**Moduł obliczeń transformacyjnych**, wyznaczający na podstawie aktualnego stanu współrzędnych opisujących kinematykę (czyli położenie każdego członu) położenie brył w przestrzeni trójwymiarowej. Wykonywane są w nim również transformacje wszystkich obiektów do układu punktu obserwacji oraz częściowe usuwanie linii niewidocznych.

**Moduł generowania rysunku**, obliczający współrzędne rzutu perspektywicznego lub prostokątnego na ekran monitora. Procedury tego modułu wywołują również funkcje biblioteki obsługi karty graficznej służące kreśleniu linii.

**Moduł tworzenia dokumentacji**, wykonujący rysunki na drukarce lub ploterze. Tworzone są rysunki odzwierciedlające aktualną sytuację widoczną na ekranie. Możliwe jest wykreślenie na ploterze ciągu pozycji robota na stanowisku, co umożliwia analizę całego cyklu pracy. Rysunki zawierają niezbędne opisy, czyli nazwę stanowiska i robota oraz datę i skalę wykonywanego rysunku.

**Moduł zmiany punktu obserwacji**, ustalający położenie i orientację układu współrzędnych związanego z obserwatorem. Stosowane są dwie koncepcje ustalenia punktu oraz kierunku obserwacji. Pierwsza to obroty wokół trzech osi globalnego układu współrzędnych o zadany kąt. Druga to ruch punktu obserwacji traktowanego jako kamera. Możliwe jest pochylanie i obrót kamery wokół jej lokalnych osi o zadany kąt oraz najazd kamerą o zadana odległość. Jedna z funkcji pozwala również na powiększenie dowolnej części ekranu.

### 3.3. Blok interpretujący kod IRDATA

Blok interpretera to zestaw procedur wyznaczający chwilowe wartości parametrów opisujących kinematykę robota, na podstawie programu napisanego w kodzie IRDATA. Kod IRDATA jest zunifikowanym zbiorem instrukcji sterujących dowolnym typem robota. Powstaje on najczęściej jako forma pośrednia przy translacji z języków wyższego poziomu. Blok ten posiada cztery główne moduły:

Moduł analizatora języka, rozpoznający kolejne instrukcje kodu IRDATA. Przeprowadzana jest w nim weryfikacja składni i parametrów, co umożliwi wprowadzanie kodu przygotowanego ręcznie lub przez translator języka wysokiego poziomu. Na tej podstawie są ustalane parametry sterujące generatorem trajektorii.

Moduł generatora trajektorii wyznacza chwilowe położenia i orientacje końcówki robota w kolejnych, równoodległych w czasie momentach. Generowanie odbywa się zgodnie z ustawionymi wcześniej parametrami oraz typem wykonywanego ruchu.

Moduł obliczeń kinematycznych przelicza położenie końcówki manipulatora na konfigurację łańcucha kinematycznego. Sprawdzane są również ograniczenia na położenie, prędkość i przyspieszenie w przegubach oraz na prędkość i przyspieszenie końcówki robota.

Moduł zmiany parametrów pozwala na zmianę kroku czasowego pomiędzy kolejnymi pozycjami. Można zdecydować o automatycznym tworzeniu "filmu" komputerowego obrazującego ruch robota lub o rejestracji tego ruchu na ploterze, w postaci kolejnych, nałożonych na siebie faz.

Moduł obliczeń kinematycznych jest powiązany z modułem obliczeń transformacyjnych bloku wizualizatora, aby na podstawie konfiguracji łańcucha kinematycznego tworzyć obraz robota na stanowisku.

### 3.4. Blok sterowania ręcznego

Blok sterowania ręcznego służy do poruszania robotem przy użyciu panelu. Panel ten pokazuje się na ekranie w postaci klatek (podobnych do menu) z zaznaczonymi numerami stopni swobody oraz podziałem na pola powodujące zmniejszenie lub zwiększenie współrzędnej. Istnieje możliwość zmiany położenia każdego przegubu robota poprzez "naciskanie" kursorem odpowiednich "przycisków" panelu. Blok ten zawiera trzy moduły:

Moduł czytania panelu służy do komunikacji z użytkownikiem, czyli do wygenerowania identyfikatora tego przegubu, w którym współrzędna go opisująca ulega zmianie oraz kierunku tej zmiany.

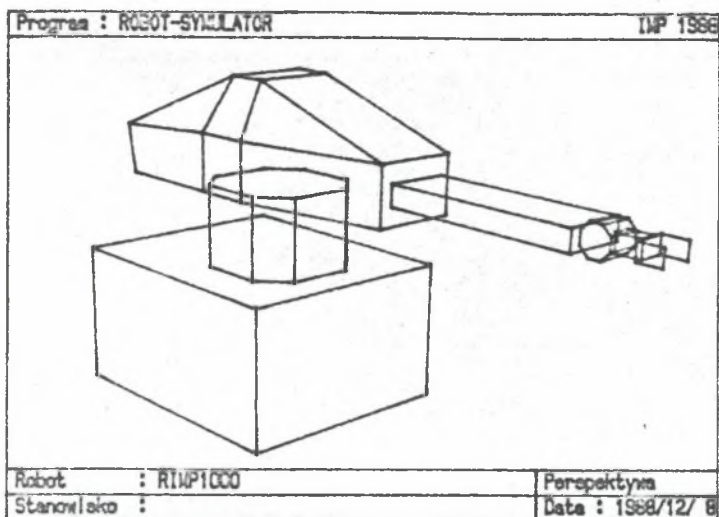
Moduł obliczeń kinematycznych wyznacza nowe wartości współrzędnych opisujących strukturę kinematyczną oraz sprawdza, czy nie wystąpiły przekroczenia położenia.

Moduł zmiany parametrów pozwala na zmianę wartości przyrostu współrzędnych w przegubach. Można w nim uruchomić również tworzenie "filmu" lub rejestrację ruchu na ploterze.

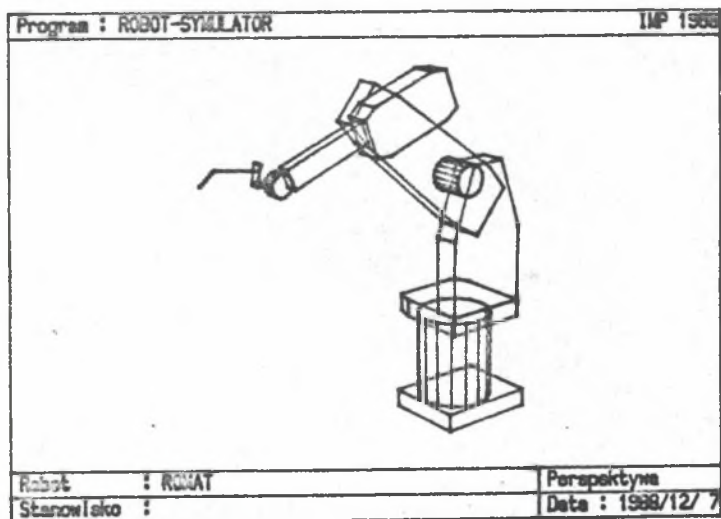
Moduł obliczeń kinematycznych jest sprzężony z modułem obliczeń transformacyjnych bloku wizualizatora, aby w oparciu o konfigurację łańcucha kinematycznego tworzyć obraz robota na stanowisku.

## 4. Wyniki

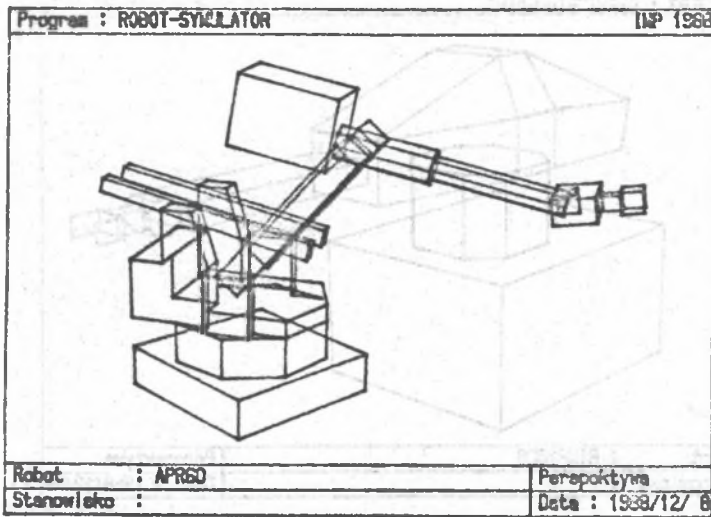
Opracowano kilka modeli robotów i stanowisk oraz przygotowano programy opisujące w kodzie IRDATA ruchy robota. Na rysunkach od 2 do 4 pokazano przykładowe konstrukcje robotów:



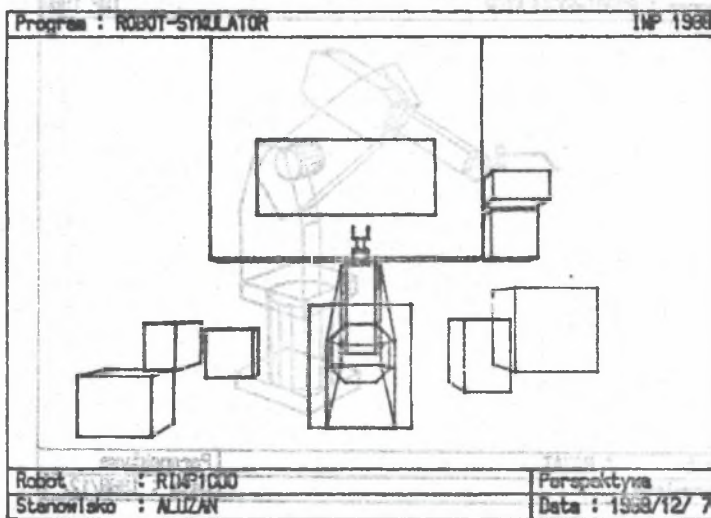
Rys.2. Robot RIMP1000.  
Fig.2. Robot RIMP1000.



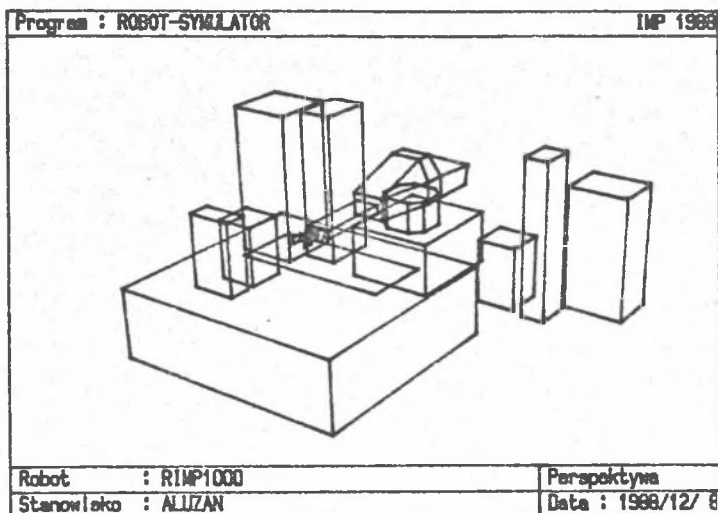
Rys.3. Robot ROMAT.  
Fig.3. Robot ROMAT.



Rys.4. Robot APR60.  
Fig.4. Robot APR60.

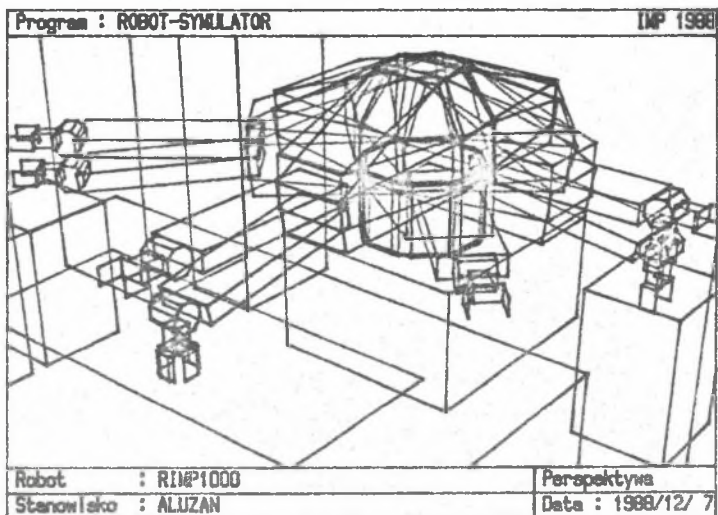


Rys.5. Plan stanowiska ALUZAN.  
Fig.5. Scheme of ALUZAN workplace.



Rys.6. Widok stanowiska ALUZAN.

Fig.6. View of ALUZAN workplace.



Rys.7. Fazy ruchu robota na stanowisku.

Fig.7. Phases of robot motion on the workplace.

- RIMP1000 używanego do procesów transportowych, zgrzewania i spawania;
- ROMAT używanego do spawania;
- APR60 używanego do procesów transportowych.

Na rysunkach od 5 do 7 przedstawiono schemat pracy robota RIMP1000 na stanowisku do aluminiowania zanurzeniowego. Dołączony jest również tekst programu (rys.8), opisujący ruch tego robota na stanowisku. Przeprowadzone przy użyciu programu ROBOT-SYMULATOR testy umożliwiły wykrycie błędów popełnionych przy wstępnym rozplanowaniu stanowiska, szybką weryfikację programu i ocenę czasową wykonywanych czynności.

### 5. Uwagi końcowe

Opracowana wersja programu ROBOT-SYMULATOR nie jest wersją ostateczną i przewiduje się jej dalszą rozbudowę. W niedługim czasie zostanie podłączony pełny interpreter kodu IRDATA. Ukończony będzie również etap uruchamiania specjalizowanej bazy danych oraz nastąpi pełne połączenie symulatora z edytorem obiektów i stanowiska. Dla uwypuklenia wyników zostaną zastosowane bardziej skomplikowane metody grafiki komputerowej, czyli usuwanie linii niewidocznych, cieniowanie i oświetlenie. W ramach analizy geometrycznej będą wykrywane kolizje pomiędzy obiektami stanowiska. Kod IRDATA będzie przygotowywany przez kompilator języka wysokiego poziomu. Należy również rozszerzyć możliwości dokumentacyjne programu. Najprostszym rozwiązaniem będzie zapis wyników w postaci standardowych zbiorów akceptowanych przez wyspecjalizowane programy, np. AutoCAD. Umożliwi to opracowywanie wstępnego projektu stanowiska zgodnie z wymaganiami dokumentacyjnymi polskich norm. Oprócz programu ROBOT-SYMULATOR przygotowany został program PROJECTOR służący do wyświetlania "filmu" komputerowego obrazującego symulację. Może on wyświetlać wszystkie klatki w przód i w tył, zwalniać lub przyspieszać projekcję, wykonywać stopklatkę oraz wydruk pojedynczego obrazu na drukarce.

### LITERATURA

- [1] BRANTMARK H., RAMSTROM K. G.: ASEA Off-line Programming System a User Friendly Implement. Proc. of the 15th I.S.I.R., Tokyo, Japan, 1985, ss. 741-749.
- [2] BISON P., PAGELLO E.: The Design of an Interactive Environment for Robot Programming. Proc. of the 15th I.S.I.R., Tokyo, Japan, 1985, ss. 733-740.
- [3] HEGINBOTHAM W. B., DOONER M., KENNEDY D. N.: Computer Graphics Simulation of Industrial Robot Interactions. Proc. of the 7th I.S.I.R., 3rd C.I.R.T., Tokyo, November 1977, ss 169-176.
- [4] YOUNG Y. F., BONNEY M. C., KNIGHT J. A. G.: GRASP-A Design Tool for FMS. Proc. of the 2nd Int. Conf. on Flexible Manufacturing System, London, 1983, ss 215-228.
- [5] BONNEY M.C. i in.: The Simulation of Industrial Robot Systems. Omega, 1984, vol. 12 nr 3, ss 273-281.
- [6] KRETCH J.S.: Robotic Animation. Mechanical Engineering, August 1982, ss. 32-35.



- [7] DILLMANN R., HORMONG B., HUCK M.: Interactive Programming of Robots Using Textual Programming and Simulation Techniques. Proc. of the 16th I.S.I.R. and 8th International Conference on Industrial Robot Technology, Brussels, Belgium, 1986, ss. 753-764.
- [8] LEU M. C., MAHAJAN R.: Computer Graphic Simulation of Kinematics and Dynamics. ROBOT 8, Detroit, Michigan, USA, 1984, MS84-355 ss. 1-23.
- [9] NOVAK B.: Robotic Simulation Facilitates Assembly Line Design. Simulation, December 1984, ss 298-299.
- [10] KAVABE S. i in.: Interactive Graphic Programming for Industrial Robots. Proc. of the 15th I.S.I.R., Tokyo, Japan, 1985, ss. 699-706.
- [11] KAKAZU Y. in.: A Study on Cooperative Robot Motion Simulator. Proc. of the 15th I.S.I.R., Tokyo, Japan, 1985, ss. 691-698.

СИМУЛЯЦИЯ КИНЕМАТИКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

Резюме

В статье представляются свойства и способ действия программы РОБОТ-ИМИТАТОР. Описываются главные блоки программы, их функции предусматриваемые места употребления, а также итоги тестов.

SIMULATION OF INDUSTRIAL ROBOTS KINEMATICS BY MEANS  
OF COMPUTER GRAPHICS

Summary

In the report features and operation of the ROBOT-SYMULATOR computer program are described. Functions of the main program blocks, expected applications and results of the preliminary tests are discussed.

Recenzent: dr inż. A. Nowak

Wpłynęło do Redakcji 15.XII.1988 r.