

Franciszek Marecki
Karol Ptasznik
Politechnika Śląska

SYMULATOR STEROWANIA LINIĄ MONTAŻOWĄ *

Streszczenie. W referacie przedstawiono program komputerowy symulatora sterowania linią montażową wyposażoną w roboty przemysłowe. Program został zrealizowany w oparciu o model matematyczny procesu montażu opisany równaniami stanu.

1. Wstęp

Linie montażowe z robotami przemysłowymi pozwalają montować obiekty w sposób elastyczny. Oznacza to, że robot w kolejnych taktach może wykonywać różne sekwencje operacji. Wymaga to jednak odpowiedniego sterowania robotami znajdującymi się na linii. W ogólnym przypadku do sterowania linią zrobotyzowaną potrzebna jest komputerowa sieć przemysłowa, natomiast w najprostszym przypadku wystarczy zsynchronizowana praca poszczególnych układów sterowań robotów. Ze względów technicznych dąży się do maksymalnego uproszczenia systemu sterowania.

Złożoność problemów związanych ze sterowaniem, pojawiających się w liniach rzeczywistych, uniemożliwia uzyskanie zazwyczaj rozwiązania dokładnego. Z tego względu trudno jest porównać dopuszczalne algorytmy sterowania w sensie jakości otrzymanych rozwiązań [1], [5] i [6]. W tej sytuacji jedynym wiarygodnym narzędziem oceny działania algorytmów sterowania staje się symulacja.

W referacie przedstawiono program "Symulator sterowania linią montażową" służący do symulacji algorytmów sterowań montażem na liniach z robotami przemysłowymi. Symulator ten został zrealizowany w oparciu o model matematyczny procesu montażu opisany równaniami stanu [2], [3].

2. Opis linii montażowej

Program "Symulator sterowania linią montażową" dotyczy zrobotyzowanej, szeregowej linii montażowej. Linia ta składa się z transportera oraz stanowisk. Transporter przesuwa montowane obiekty w sposób skokowy z określonym taktom.

* / Praca częściowo finansowana z Programu RP. I. 02 w tomie 4.

Takt składa się z dwóch faz. W fazie pierwszej roboty wykonują swoje programy (operacje), natomiast w drugiej fazie transporter przesuwa obiekty na kolejne stanowiska.

Wzdłuż transportera rozlokowane są stacje. Wyróżniamy stacje montażowe oraz załadunkową i wyładunkową. Na stacji załadunkowej instalowany jest obiekt przeznaczony do montażu. Natomiast ze stacji wyładunkowej zdejmowane są obiekty gotowe. Na stacjach montażowych operacje wykonywane są wyłącznie przez roboty. Pojedynczy robot może wykonać tylko te operacje, które należą do wersji obiektu znajdującego się na jego stanowisku, a jednocześnie nie zostały wcześniej wykonane, natomiast ich bezpośrednie poprzedniki zostały wcześniej zrealizowane.

Montaż jest szeregowy, czyli na każdej stacji montażowej może pracować co najwyżej jeden robot.

Na linii mogą być wykonywane operacje punktowe lub operacje przestrzenne. W operacji punktowej czasy transportu chwytaka od miejsca bazowego do miejsca wykonania operacji i od miejsca zakończenia operacji do miejsca bazowego oraz czas bezpośredniej realizacji operacji tworzą łącznie czas wykonania operacji. Natomiast w operacjach przestrzennych czasy te są ograniczone.

Na linii może odbywać się montaż jedno- i wielowersyjny. Wersje mogą się różnić liczbą, jak i typem operacji.

Operacje mogą być powiązane ze sobą różnymi relacjami kolejnościowymi.

Program "Symulator sterowania linią montażową" pozwala przeanalizować pracę linii sterowanej statycznie, quasi-statycznie, pseudostatycznie oraz umożliwić wyznaczenie sterowania dla poszczególnych robotów na bieżąco.

Podstawowym warunkiem sterowania montażem obiektów na linii zrobotyzowanej jest ich kompletność.

3. Środowisko działania programu

Program "Symulator sterowania linią montażową" został napisany w języku TURBO PASCAL wersja 5.0. Składa się on z modułu głównego "LINIAM.EXE" oraz modułów "OKNA.TPU" i "TABLICE.TPU".

Program jest przystosowany do użytkowania na komputerze typu IBM PC/XT/AT, w którego konfiguracji wymagana jest karta grafiki EGA lub VGA. Program przystosowany jest do współpracy z monitorem kolorowym oraz monochromatycznym. Minimalna pojemność pamięci operacyjnej komputera, jaka jest wymagana przez ten program, wynosi 640 kB.

4. Komunikacja użytkownika z programem

Informacje niezbędne do komunikowania się użytkownika z programem podawane są na ekranie monitora w tzw. oknach.

W każdym oknie podanych jest kilka możliwych do wybrania opcji. Wyboru

dokonuje się klawiszami kierunku \uparrow , \downarrow . Wybrana opcja jest podświetlona. Przejście do realizacji opcji następuje po naciśnięciu klawisza "ENTER". Wyjście z opcji odbywa się poprzez naciśnięcie klawisza "ESC".

Do wyboru elementów macierzy i wektorów służą wszystkie klawisze kierunków. Ich użycie odpowiednio powoduje:

- " \uparrow " - przejście w tej samej kolumnie do elementu w wierszu o numerze o jeden mniejszym,
- " \downarrow " - przejście w tej samej kolumnie do elementu w wierszu o numerze o jeden większym,
- " \leftarrow " - przejście w tym samym wierszu do elementu w kolumnie o numerze o jeden mniejszym,
- " \rightarrow " - przejście w tym samym wierszu do elementu w kolumnie o numerze o jeden większym,
- "HOME" - przejście do pierwszego elementu w wierszu,
- "END" - przejście do ostatniego elementu w wierszu,
- "PG UP" - przejście do pierwszego wiersza,
- "PG DN" - przejście do ostatniego wiersza.

5. Struktura programu

Program "Symulator sterowania linią montażową" stanowi zintegrowany zestaw procedur umożliwiający użytkownikowi opisanie modelu, wybranie sterowania, przeprowadzenie symulacji oraz przeanalizowanie jej przebiegu.

Po uruchomieniu programu na ekranie monitora ukazuje się plansza tytułowa. Naciskając dowolny klawisz przechodzimy do menu głównego określającego podstawowe opcje możliwe do wykonania (rys.1), tzn.:

- wybór sterowania,
- parametry procesu,
- symulację procesu,
- wyniki symulacji,
- wyjście do systemu.

Wybór ostatniej opcji powoduje zakończenie pracy programu i wyjście do systemu operacyjnego.

5.1 Opcja WYBÓR STEROWANIA

Program posiada możliwość wyboru jednego z trzech typów sterowania linią (rys.2):

- konwersacyjnego,
- statycznego,
- quasi-statycznego.

Aktualnie obowiązujący typ sterowania jest podświetlony. W trybie konwersacyjnym macierz sterowań może być korygowana przed każdym nowym cyklem. Umożliwia to symulowanie w pewnym zakresie pracy dynamicznej i

przejęciowej linii. Tryb statycznego sterowania dotyczy wyłącznie sterowania montażem wersji 1.

W trybie quasi-statycznym sterowanie jest modyfikowane na bieżąco w zależności od wersji montowanego obiektu, jednakże zgodnie ze sterowaniem danej wersji. Tryb ten umożliwia również symulację sterowania pseudostatycznego.

5.2. Opcja PARAMETRY PROCESU

W opcji tej można ustawić lub zmodyfikować parametry symulowanego procesu. Wyróżnionych jest dziewięć opcji (rys. 3):

- dane podstawowe.
- typy wersji (A).
- czasy operacji (V).
- czasy transportu (T).
- stan początkowy (X0).
- poprzedniki (GAMMA).
- wejście (S).
- roboty (R).
- sterowanie (U).

5.2.1. Opcja DANE PODSTAWOWE

Opcja ta zawiera sześć podstawowych parametrów skalarnych symulowanego procesu (rys. 4), są to:

- liczba operacji N.
- liczba stacji L.
- liczba wersji W.
- koszt operacji.
- koszt błędu.
- długość zmiany.

Aktualna wartość tych danych wyświetlana jest w oknie "wartość".

Trzy pierwsze dane mogą przyjmować wartości z przedziałów:

- liczba operacji N od 1 do 20.
- liczba stacji L od 1 do 9.
- liczba wersji W od 1 do 9.

Pozostałe mogą być w zakresie od 0 do 9999.

5.2.2. Opcja TYPY WERSJI (A)

Opcja ta umożliwia wypełnienie lub zmodyfikowanie macierzy przynależności operacji do wersji. W macierzy tej wiersze oznaczają operacje natomiast kolumny wersje. "0" oznacza, że operacja nie należy do wersji, a "1" oznacza, że należy do niej.

5.2.3. Opcja CZASY OPERACJI (CV)

Wektor czasów wykonania operacji może być wypełniony losowo lub "ręcznie". W obu przypadkach należy podać ich górne i dolne ograniczenie. Również w obu przypadkach mogą być one ręcznie korygowane. Wektor po określeniu ograniczeń jest pokazany na osobnej planszy.

5.2.4. Opcja CZASY TRANSPORTU (CT)

Macierz czasów transportu chwytaka może być wypełniona losowo lub "ręcznie". W obu przypadkach należy podać jej górne i dolne ograniczenie. Również w obu przypadkach mogą być one ręcznie korygowane. Macierz po określeniu ograniczeń jest pokazana na planszy. Element macierzy określa czas transportu chwytaka pomiędzy dwoma punktami wykonania operacji. Zerowa kolumna i wektor określają położenie bazowe.

5.2.5. Opcja STAN POCZĄTKOWY (CX0)

Opcja ta umożliwia generowanie losowe, jak i "ręczne" macierzy stanu początkowego linii oraz jego modyfikację. Generując losowo macierz należy określić, czy jest to montaż jedno- czy wielowersyjny. Dla montażu jednowersyjnego macierz może być zerowa albo może posiadać obiekty jednej wersji. W procesie wielowersyjnym mogą być generowane różne wersje. W macierzy wiersze oznaczają operacje, a kolumny stanowiska. Element macierzy równy ":" oznacza, że operacja jest wykonana, "0", że nie.

5.2.6. Opcja poprzedniki (GAMMA)

Macierz bezpośrednich poprzedników może być generowana losowo lub ręcznie. Przy generowaniu losowym należy podać współczynnik zrównoleglenia operacji z zakresu od 0 do 100. "0" oznacza, że operacja 1 jest bezpośrednim poprzednikiem wszystkich operacji. W miarę jak wartość tego współczynnika rośnie, pojawia się coraz więcej bezpośrednich poprzedników. Gdy jego wartość jest bliska połowie zakresu, powstaje struktura szeregowo-wzajemnej. Następnie coraz więcej operacji staje się niezależnych. Dla wartości 100 operacje są niezależne. Wyniki generacji przedstawia osobna plansza. Przy generacji ręcznej następuje automatyczne sprawdzanie poprawności.

5.2.7. Opcja WEJŚCIE (CS)

Opcja ta umożliwia wypełnianie i zmodyfikowanie wektora obiektów wejściowych S. Maksymalny wymiar wynosi 300 elementów. Elementami wektora mogą być numery wersji, "0" oznaczające brak elementu oraz "." oznaczająca koniec wektora. Symulator po napotkaniu znaku "." kończy pracę. Dla

symulatora pierwszym elementem jest zawsze element wskazywany kursorem. W trybie statycznym wskazany element jest wersją, która pojawia się w każdym cyklu na stanowisku załadunkowym. Dla pozostałych typów sterowania po każdym cyklu wskazywany jest następny element.

5.2.8. Opcja ROBOTY (R)

W opcji tej możliwe jest podanie rozmieszczenia robotów na stanowiskach. Rozmieszczenie to zapisuje się w wektorze R. "0" oznacza brak robota na stanowisku, "1" jego obecność na nim.

5.2.9. Opcja STEROWANIE (U)

Opcja ta umożliwia utworzenie macierzy sterowań dla poszczególnych wersji obiektów. Sterowania tworzone są dla robotów, a nie stanowisk. Macierze wypełnia się od pierwszej wersji do ostatniej. Wiersze oznaczają operacje, natomiast kolumny - roboty. Macierze należy wypełniać od operacji pierwszej wwyż. Podczas symulacji sterowania te przypisywane są kolejnym stanowiskom, na których znajdują się roboty.

5.3. Opcja SYMULACJA PROCESU

Po wybraniu tej opcji program przechodzi do bezpośredniej symulacji procesu sterowania linią montażową. Jednak przed samą wizualizacją należy ustawić dwa parametry symulacji. Pierwszy dotyczy sterowania zmiany cyklu, tzn. czy przejście między cyklami powinno odbywać się bez zatrzymania (jest to opcja ZMIANA CYKLU AUTOMATYCZNA), czy też z zatrzymaniem (opcja ZMIANA CYKLU "RĘCZNA"). Drugi dotyczy wyników symulacji. Jeśli chcemy, żeby aktualna symulacja była kontynuacją poprzedniej, to wybieramy opcję CZY JEST TO KONTYNUACJA POPRZEDNIEJ SYMULACJI - TAK, jeśli nie, to opcję CZY JEST TO KONTYNUACJA POPRZEDNIEJ SYMULACJI - NIE.

Planszę przedstawiającą bezpośrednio symulowany proces przedstawia rys.5. Na planszy widoczne są trzy stanowiska robocze oznaczone cyframi 1, 2 i 3 w górę, stanowisko załadunkowe "0" oraz wyładunkowe "Y". Roboty oznaczone są literą R. Stanowiskom wyładunkowemu i załadunkowemu przypisane są wektory oznaczające stan obiektu będącego na stacji. Cyfra oznacza wersję obiektu. Operacje oznaczone są literami zgodnie z kolejnością alfabetyczną. Małe litery oznaczają operacje niewykonane, duże - wykonane. Stacje montażowe opisane są trzema wektorami. Pierwszy, dolny, określa stan początkowy obiektu, tzn. stan, z jakim został on wprowadzony na stację. Wektor drugi określa sterowanie, jakie przyporządkowane jest danej stacji. Natomiast trzeci, górny, pokazuje stan obiektu po wykonaniu na nim poszczególnych operacji. Stosowana symbolika jest identyczna jak na stacjach "0" i "Y". Przyciskami "-" i "+" można przesuwać podgląd

dowolne trzy kolejne stacje.

W dolnej części planszy podawane są dane o procesie, są to:

- liczba cykli (taktów),
- numer zmiany,
- aktualna długość zmiany,
- łączny czas pracy,
- zysk,
- straty,
- liczba obiektów gotowych (kompletnych),
- liczba braków,
- liczba błędnych operacji.

Zysk jest to iloczyn wykonanych operacji i kosztu operacji, natomiast straty, to iloczyn nie wykonanych operacji i kosztu błędu. Błędymi operacjami są operacje powielone oraz te, których bezpośredni poprzednik nie został wykonany.

Zakończyć symulację można przyciskiem F9. Przed wyjściem do menu głównego istnieje możliwość przepisania aktualnego stanu do macierzy X0, wybierając opcję CZY ZAPAMIĘTAĆ STAN LINII - TAK.

5.3.1 Generacja wektora sterowania

Przy wybranym sterowaniu konwersacyjnym (Opcja WYBÓR STEROWANIA) należy przed każdym cyklem wyznaczyć bieżące sterowanie dla danej stacji. W tym celu na ekranie monitora ukazuje się plansza na początku każdego nowego cyklu (rys.6). Przedstawione są na niej podstawowe dane pozwalające wyznaczyć nowy wektor sterowania, czyli:

- numer stacji, dla której wyznaczane jest sterowanie,
- wektor bezpośrednich poprzedników (GAMMA),
- wektor stanu danej stacji (X),
- wektor sterowania dla danej stacji (U),
- aktualny czas realizacji wyznaczanego sterowania,
- czas taktu dla ostatniej stacji z robotem (w nawiasie).

W wektorze GAMMA jedynką oznaczone są wszystkie bezpośrednie poprzedniki dla operacji oznaczonej kursorem. Pozostałe oznaczenia są zgodne z wcześniej opisanymi. Klawiszami "↑" i "→" można przesuwać podgląd na dowolną stację. Klawiszami "←" i "↓" można przesuwać kursor na dowolną operację w wektorze U. Podprogram generowania wektora sterowania automatycznie zeruje sterowanie i blokuje zapis dla:

- wykonanych operacji,
- stacji pozbawionych robotów,
- stacji, na których brak jest obiektów.

Zapobiega to występowaniu błędnych operacji.

5.4. Opcja WYNIKI

W opcji tej wyświetlane są wyniki zbiorcze wszystkich typów sterowania. Wyprowadzane dane są identyczne do danych występujących w symulacji.

6. Wnioski

Obok sterowania statycznego i quasi-statycznego na przedstawionym symulatorze mogą być symulowane również inne algorytmy sterowania. Poprzez dobór wektora sterowania w trybie konwersacyjnym można symulować sterowanie pseudostatyczne, przejściowe oraz dynamiczne.

Natomiast dobierając odpowiednio dane procesu można zasymulować dowolną sytuację, jaka może wystąpić na linii rzeczywistej, np.:

- rozruch linii,
- zatrzymanie linii,
- awaria robota,
- zmiany stanu obiektów wejściowych.

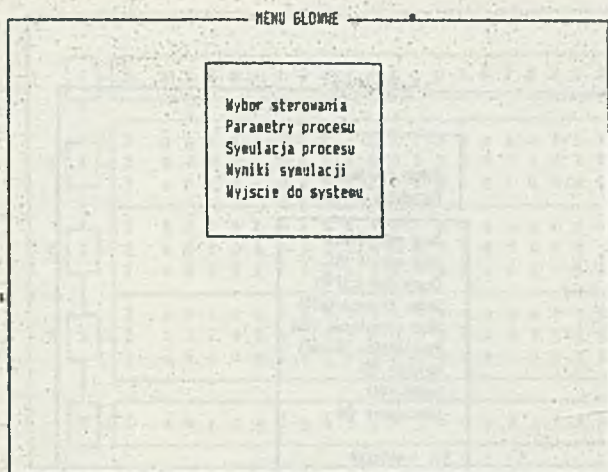
Program "Symulator sterowania linią montażową" pozwala bez znajomości mechanizmu symulacji analizować różne algorytmy sterowania.

LITERATURA:

- [1] Kowalowski H. i inni: Automatyizacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [2] Marecki F.: Modele matematyczne i algorytmy alokacji operacji i zasobów na linii montażowej. ZN Pol. Śl. Automatyka, nr 82, Gliwice 1988.
- [3] Marecki F., Płasznik K.: Model matematyczny jednowersyjnego procesu montażu na liniach z robotami przemysłowymi. ZN Pol. Śl. Automatyka, Gliwice 1990 (w druku).
- [4] Niederliński A.: Roboty przemysłowe. WSzP, Warszawa 1981.
- [5] Kowalowski H. i inni: Modele matematyczne i algorytmy sterowania procesami dyskretnymi. Raport z pracy naukowo-badawczej, Gliwice 1989 (niepublikowane).
- [6] Kowalowski H. i inni: Metodyka i optymalizacja sterowania procesami montażu na liniach z uwzględnieniem diagnostyki i kontroli międzyoperacyjnej. Raport z pracy naukowo-badawczej, Gliwice 1989 (niepublikowane).
- [7] Płasznik K. i inni: Symulator sterowania linią montażową. Raport z pracy naukowo-badawczej, Bielsko-Biała 1990. (niepublikowane).

Recenzent: Doc. dr hab. inż. K. Wala

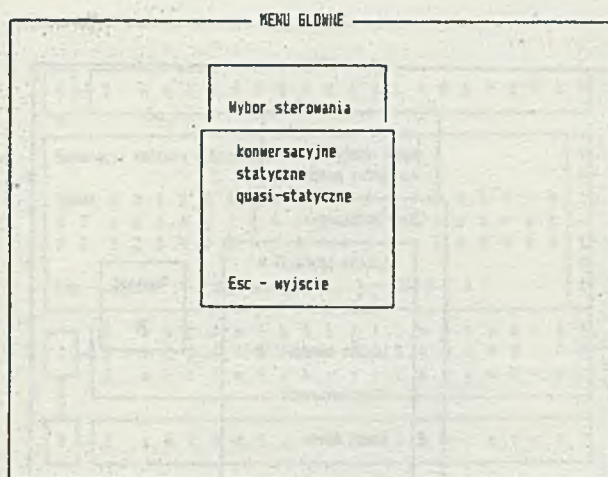
Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.



Wybór sterowania pracą linii montażowej
Enter - potwierdzenie wyboru

Rys. 1. Menu główne

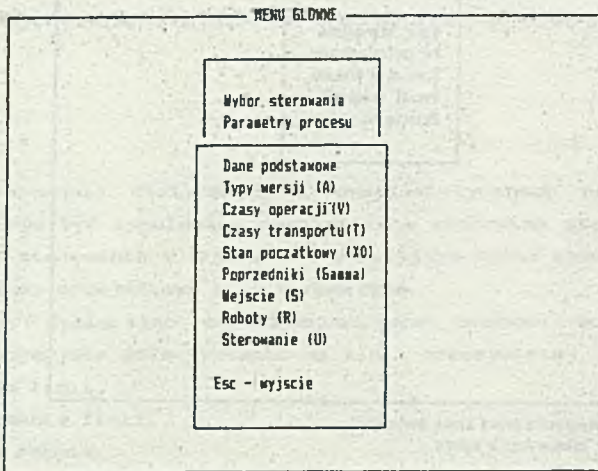
Fig. 1. Main menu



konwersacyjne sterowanie linia montażowa

Rys. 2. Opcja WYBÓR STEROWANIA

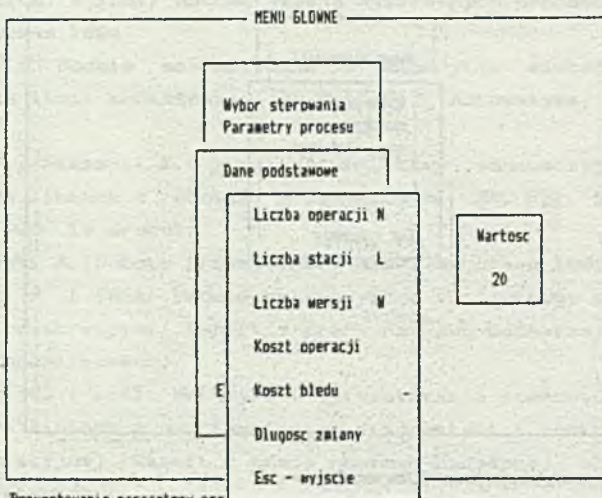
Fig. 2. CONTROL SELECTION option



Przygotowanie parametrów procesu i danych wejściowych
 Enter - potwierdzenie wyboru

Rys. 3. Opcja PARAMETRY PROCESU

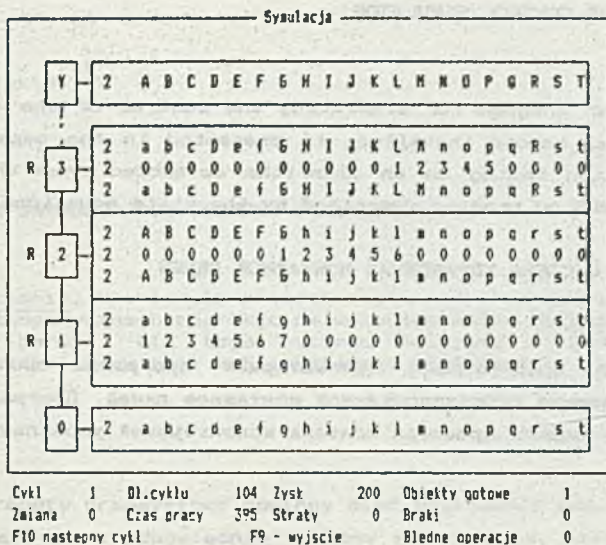
Fig. 3. PROCESS PARAMETERS option



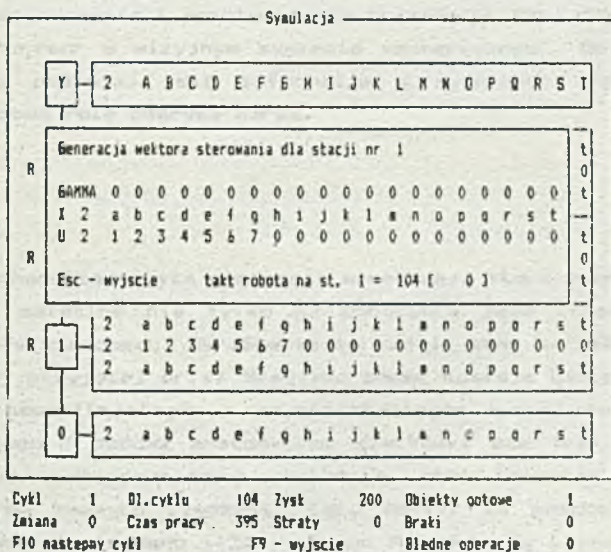
Przygotowanie parametrów pro
 Enter - potwierdzenie wyboru

Rys. 4. Opcja DANE PODSTAWOWE

Fig. 4. MAIN DATA option



Rys. 5. Plansza symulacji
 Fig. 5. Paint of simulation



Rys. 6. Opcja GENERACJA WEKTORA STEROWANIA
 Fig. 6. CONTROL VECTOR GENERATION option

ASSEMBLING LINE CONTROL SIMULATOR

Summary

A computer program for simulating the control of the assembling line with industrial robots installed, is presented in the paper. The program has been written basing on an algorithm developed from the mathematical model of assembling process described by the state equations.

СИМУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОНТАЖНОЙ ЛИНИЕЙ

Резюме

В работе представлена компьютерная программа для моделирования процесса управления роботизированной монтажной линией. Программа основана на математической модели процесса монтажа использующей управление состоянием.

