ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990
Seria: AUTOMATYKA z.100 Nr kol.1082

Sławomir Kilanowski
Politechnika Wrocławska

PROBLEM WYBORU STRUKTURY W DYSKRETNYM SYSTEMIE PRODUKCJI

Streszczenie. W pracy przedstawiono opis dyskretnego systemu produkcji i problemy związane z wyborem jego struktury. Zaproponowano uogólnienie opisu struktury oraz dekompozycję algorytmu sterowania ruchem obiektów.

1. Wstęp

Zagadnienia zwiazane z projektowaniem sytemów sterowania dla potrzeb elastycznych systemów produkcyjnych można podzielić na dwie grupy. Pierwszy zestaw problemów dotyczyć będzie wyboru struktury projektowanego sytemu , a więc [7] rozmieszczenia elementów systemu i możliwości ich przemieszczania; druga grupa zagadnień wiązać się będzie z opracowaniem algorytmów sterowania ruchem elementów systemu o określonej strukturze. W tym ujęciu zadanie wyboru struktury elastycznego sytemu produkcyjnego staje się zadaniem pierwotnym w stosunku do zadania syntezy algorytmu sterowania. Wydaje się to podejściem dość naturalnym, gdyż określenie struktury systemu wiąże się z podjęciem decyzji, które trudno zmienić: rozmieszczeniem elementów, ustaleniem możliwości i sposobu działania systemu transportu. Możliwe też jest oczywiście postawienie zagadnienia w inny sposób : wybór najlepszej w określonym sensie struktury dla założonego algorytmu sterowania.

Określenie kryterium jakości wyboru struktury, bądź zestawu takich kryteriów byłoby zadaniem niezwykle trudnym , jeśli nie skazanym na niepowodzenie. Ujęcie kosztów związanych ze stopniem złożoności systemu, zysków płynących z jego elastyczności w przypadku awarii jego elementów itd. wymaga na tyle zindywidualizowanego podejścia, że próby uogólniania w tym zakresie są niezmiernie trudne. Wydaje się zatem sensowne dostarczenie jedynie narzędzia analizy takiego systemu pod względem efektywności, tj. realizacji pewnego kryterium jakości związanego z ilością i czasem wykonania zadań produkcyjnych. Dotychczasowe rozważania dotyczące wyboru struktury w sytemie montażu zawarte w pracach naszego Instytutu [1,2,7] dotyczyły sytuacji, gdy sekwencja operacji była z góry zadana dla każdego obiektu montażu; przy rozważaniu montażu złożonego brano pod uwagę tylko jeden rodzaj obiektów montażu głównego, a algorytm sterowania w takiej strukturze był z góry zadany. Rozważania ograniczały się do wyboru pomiędzy strukturą liniową i elastyczną. Praca niniejsza znosząc te ograniczenia jest rozszerzeniem dotychczasowego podejścia.

2. Opis rozważanego przypadku systemu produkcji

Podrozdział ten zawiera wykaz wielkości i oznaczeń używanych w dalszej części opracowania. Opisano tu rozpatrywany przypadek systemu montażu, a występujące w nim wielkości można podzielić na cztery grupy :

- podstawowe elementy systemu,
- obiekty i detale,
- zadania i relacje wiążace je z innymi wielkościami,
- wielkości związane ze stanem obiektów.

Grupy te zostaną kolejno omówione i zilustrowane przykładami.

2.1. Podstawowe elementy systemu

Zakładamy, że w rozpatrywanym systemie elementami stałymi są realizatory (podmioty zdolne do wykonywania zadań produkcyjnych) oraz magazyny (zbiory obiektów, na których w danej chwili nie są realizowane zadania). Zarówno dla realizatorów , jak i magazynów określone są ich położenia i pojemności. Ponieważ zakładamy , że czasy transportu są pomijalne, położenia należy rozumieć jako rodzaj "etykiet" jednoznacznie powiązanych z elementami systemu. Określony jest też związek pomiędzy realizatorami a magazynami znajdującymi się w ich zasięgu (tj. tymi zbiorami obiektów, z których obiekty mogą być bezpośrednio przenoszone na realizatory). Wymienione wielkości zestawione są w poniższej tabeli.

Nazwa	Oznaczenie	Indeksy	Położenie	Pojemn.	Więź
Magazyn wejściowy systemu	$M_{in}(t)$	brak	a_{Min}	∞	
Magazyn wyjściowy systemu	$M_{out}(t)$	brak	a_{Mout}	∞	
Magazyn wejściowy realizatora	$S_{inq}(t)$	$q \in \overline{1,k_{Mo}}$	$a_{Sin}(q)$	$C_{in}(q)$	**
Magazyn wyjściowy realizatora	$S_{outq}(t)$	$q \in \overline{1,k_{Mo}}$	$a_{Sout}(q)$	$C_{out}(q)$	
Magazyn detali	$M_{em}(t)$	$m \in \overline{1,k_{Me}}$	$a_{Me}(m)$	$C_{Me}(m)$	*
Realizator	r_{ls}	$l \in \overline{1,k_r}$ $s \in \overline{1,k_{rl}}$	$a_r(l,s)$	1	

Uwagi: * - acce(m,l,s) - funkcja o wartościach logicznych zwracająca odpowiedź na pytanie, "czy z realizatora r_{ls} dostępny jest magazyn detali $M_{em}(t)$.

** - acco(q,l,s) - jw. ale dla magazynów $S_{inq}(t)$ oraz $S_{outq}(t)$.

k_{Mo} - liczba magazynów obiektów. Magazyn wejściowy i wyjściowy realizatora traktowane są łącznie jako jednostka funkcjonalna, dlatego też opatrzone są jednym indeksem.

k_{Me} - liczba magazynów detali.

k_r - liczba typów realizatorów. Przyjmujemy, że realizatory jednego typu są identyczne pod względem możliwości i czasów wykonania zadań.

k_{rl} - liczba realizatorów typu l.

2.2. Obiekty i detale

Przyjmujemy, że w systemie mogą być wytwarzane obiekty różnych rodzajów. Rozróżnienie może dotyczyć zarówno obiektów montażu głownego (różne wersje tego samego produktu , bądź nawet różne produkty), jak i montażu pomocniczego - pewne obiekty po wytworzeniu traktowane są jak detale dla obiektów montażu głównego. Przyjmujemy też , że jedną z danych jest liczba obiektów każdego rodzaju. Omawiane wielkości wymienione są poniżej :

k_h - liczba rodzajów obiektów

N_h - liczba obiektów h - tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$

A - zbiór obiektów

A_h - zbiór obiektów h-tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$

A_{hn} - n - ty obiekt h - tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$, $n \in \overline{1,N_h}$

$a_o(h,n,t)$ - położenie A_{hn} w chwili t

k_e - liczba rodzajów detali

E - zbiór detali

E_j - zbiór detali j - tego rodzaju $j \in \overline{1,k_e}$

e_j - detal j - tego rodzaju

$A_h \Delta E_j \subset 2^A \times 2^E$ - relacja wskazująca, że obiekty h - tego rodzaju po wykonaniu na nich wszystkich zadań powinny być traktowane jako detale typu j.

2.3. Zadania i ich związki z obiektami, detalami i realizatorami

Przyjmujemy , że dla wytworzenia (zmontowania) obiektu określonego rodzaju musi zostać na nim wykonany pewien zbiór zadań. Zadania rozumiane są jako ściśle wydzielone niepodzielne czynności o określonym czasie trwania. W zbiorze zadań określony jest częściowy porządek uwarunkowany ograniczeniami technologicznymi. oraz określone są relacje pomiędzy zadaniami a realizatorami i detalami, wskazujące, na jakim realizatorze oraz jakiego detalu wymaga do wykonania określone zadanie. Obie te relacje mają tę własność , że definiują zależności wspólne w obrębie typu, tj. jeśli zadanie może być wykonane na realizatorze r_{ls_l}, to może też być wykonane na

realizatorze r_{ls_2}, gdzie $s_1, s_2 \in \overline{1,k_{rl}}$. Odpowiednie wielkości i ich związki ilustruje poniższy wykaz:

R - zbiór realizatorów

R_l - zbiór realizatorów l - tego typu , $l \in \overline{1,k_r}$

Z - zbiór zadań

Z_h - zbiór zadań realizowanych na obiektach h - tego typu , $h \in \overline{1,k_h}$

k_{zh} - liczba zadań w zbiorze Z_h , $h \in \overline{1,k_h}$

z_{hi} - i - te zadanie realizowane na obiektach typu h , $h \in \overline{1,k_h}$, $i \in \overline{1,k_{zh}}$

$z_{hi} \bigcirc r_{ls} \subset Z \times R$ - relacja wskazująca , że zadanie z_{hi} wymaga do realizacji realizatora r_{ls}

$z_{hi} \otimes e_j \subset Z \times E$ - relacja wskazująca, że zadanie z_{hi} wymaga detalu e_j.

$\Gamma_h \subset Z_h \times Z_h$ - graf ograniczeń kolejnościowych określonych na zbiorze zadań Z_h , $h \in \overline{1,k_h}$

T_{hi} - czas wykonania zadania z_{hi}, $h \in \overline{1,k_h}$, $i \in \overline{1,k_{zh}}$.

2.4. Wielkości związane ze stanem obiektów

Stan obiektu związany z wykonywaniem na nim zadań produkcyjnych może być opisywany w najróżniejszy sposób [1]. W niniejszej pracy korzystamy z faktu , iż stan ten jest jednoznacznie określony przez zbiór zadań wykonanych dotychczas na obiekcie. Ponadto , ponieważ zadania są niepodzielne , przyjmujemy , że zmiana stanu występuje w momencie zakończenia wykonywania kolejnego zadania na obiekcie. Ponieważ liczba stanów osiągalnych przez obiekt każdego rodzaju jest skończona, wygodnie jest stany te ponumerować, przyjmując , że każdy z numerów jest jednoznacznie związany z pewnym podzbiorem zbioru operacji. Algorytm numeracji stanów z uwzględnieniem grafu ograniczeń kolejnościowych został zaprezentowany w [11]. Algorytm ten buduje też zbiór trójek (stan poprzedni, zadanie, stan następny) określający możliwe zmiany stanów obiektu. Idee te prezentują poniższe wielkości i przykład.

P_h - zbiór stanów osiągalnych przez obiekty h - tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$

$p_{oh} \in P_h$ - stan początkowy dla obiektów h - tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$

$p_{fh} \in P_h$ - stan końcowy dla obiektów h - tego rodzaju $h \in \overline{1,k_h}$

$p(A_{hn}, t) \in P_h$ - stan obiektu A_{hn} w chwili t $h \in \overline{1,k_h}$ $n \in \overline{1,N_h}$

$\Gamma_{ph} \subset P_h \times Z_h \times P_h$ - zbiór trójek typu (p_h', z_{hi}, p_h'') opisujący możliwe zmiany stanów $h \in \overline{1,k_h}$.

Przykład 1

Niech występują obiekty tylko jednego rodzaju, a liczba zadań wynosi 3.

$k_h = 1$; $k_{z1} = 3$

Odpowiednie wielkości są opisane przez:

$p_{o1}=p_0$ - stan początkowy

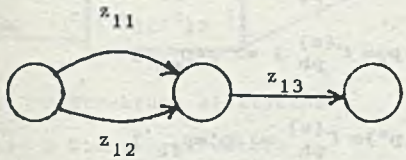
$p_{f1}=p_4$ - stan końcowy

$P_1=\{p_0,p_1,p_2,p_3,p_4\}$ - zbiór stanów osiągalnych

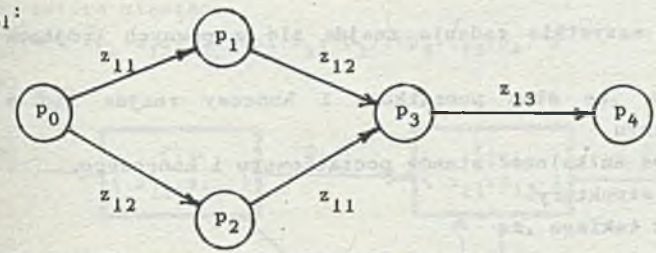
$\Gamma_{p1}=\{(p_0,z_{11},p_1),(p_1,z_{12},p_3),(p_3,z_{13},p_4),(p_0,z_{12},p_2),(p_2,z_{11},p_3)\}$

- zbiór określający możliwe zmiany stanów

Γ_1:



Γ_{p1}:



Rys.1.Przykład tworzenia zbioru Γ_{ph}.
Fig.1.Example of creating the set Γ_{ph}.

3.Określenie struktury systemu

Podany w poprzednim podrozdziale opis systemu produkcji określa jego strukturę wyjściową, tj. możliwości ruchu obiektów ograniczone są tylko przez wymogi technologiczne (w tym zdolność realizatorów do wykonywania określonego typu zadań). W sytuacji rzeczywistej nie wszystkie z tych możliwości zostaną wykorzystane , co może wynikać z pewnych ograniczeń przestrzennych, jak i kosztów związanych z realizacją systemu transportu. Określenie struktury wynikowej (faktycznie realizowanej) polega na wyborze ze wszystkich możliwości ruchu obiektów takiego podzbioru , który okaże się satysfakcjonujący i zapewni możliwość realizacji procesu. Jak już zaznaczono we wstępie ,w pracy tej chodzi raczej o podanie elastycznego narzędzia do takich badań niż formułowanie konkretnych zadań optymalizacji.

Dlatego też ograniczę się do określenia struktury wynikowej wraz z podaniem przykładu zastosowania podanego formalizmu i nakreślę ramy algorytmu stosowanego w symulacji systemu o określonej strukturze.

Strukturę systemu określamy poprzez :

A. Określenie $\Gamma_{ph}^{(s)} \subset \Gamma_{ph}$ takiego ,że

1° $\forall_{z_{hi} \in Z_h} \exists_{p,p' \in P_h} (p, z_{hi}, p') \in \Gamma_{ph}^{(s)}$

2° $\exists_{z_{hi} \in Z_h} \exists_{p \in P_h} (p_{oh}, z_{hi}, p) \in \Gamma_{ph}^{(s)}$

3° $\exists_{z_{hi} \in Z_h} \exists_{p \in P_h} (p, z_{hi}, p_{fh}) \in \Gamma_{ph}^{(s)}$

4° $\forall_{(p,z,p') \in \Gamma_{ph}^{(s)}} (\forall_{z' \in Z_h} (\sim \exists_{p'' \in P_h} (p'', z', p) \in \Gamma_{ph}^{(s)}) \Rightarrow p = p_{oh})$

5° $\forall_{(p,z,p') \in \Gamma_{ph}^{(s)}} (\forall_{z' \in Z_h} (\sim \exists_{p'' \in P_h} (p', z', p'') \in \Gamma_{ph}^{(s)} \Rightarrow p' = p_{fh})$

Warunek 1° zapewnia ,że wszystkie zadania znajdą się w pewnych trójkach tworzonego podzbioru.

Warunki 2° i 3° zapewniają ,że stan początkowy i końcowy znajdą się w pewnych trójkach tego zbioru.

Warunki 4° i 5° zapewniają unikalność stanów początkowego i końcowego.

Symbol (s) jest etykietą struktury.

B. Określenie $F^{(s)} \subset Z \times R$ takiego ,że

$$\forall_{z_{hi} \in Z_h} (\forall_{r_{ls} \in R} F^{(s)}(z_{hi}, r_{ls}) \Rightarrow z_{hi} \bigcirc r_{ls}) \wedge \exists_{r_{ls} \in R} F^{(s)}(z_{hi}, r_{ls})$$

Warunek ten stwierdza, że $F^{(s)}$ wyznacza podzbiór relacji, a ponadto ,że do realizacji każdego zadania przydzielono co najmniej jeden realizator.

Na poniższych rysunkach przedstawiono trzy możliwości określenia struktury dla systemu z następującymi danymi :

$k_h = 1$, $k_r = 2$, $k_{r1} = 2$, $k_{r2} = 1$, $k_{z1} = 3$

$\{ (z_{hi}, r_{ls}) : z_{hi} \bigcirc r_{ls} \} = \{ (z_{11}, r_{11}), (z_{11}, r_{12}), (z_{12}, r_{21}), (z_{13}, r_{11}), (z_{13}, r_{12}) \}$

$\Gamma_1 = \{ (z_{11}, z_{13}) , (z_{12}, z_{13}) \}$

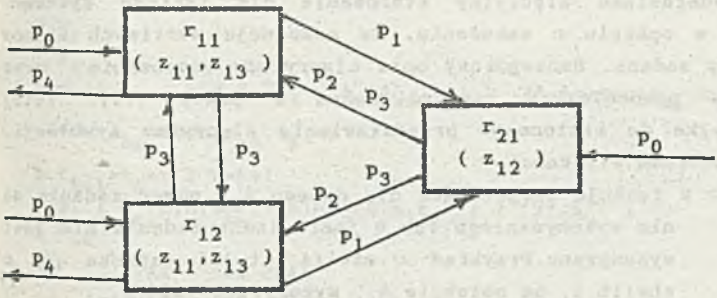
Stąd :

$\Gamma_{p1} = \{ (p_0, z_{11}, p_1), (p_1, z_{12}, p_3), (p_3, z_{13}, p_4), (p_0, z_{12}, p_2), (p_2, z_{11}, p_3) \}$

Prostokąty reprezentują relizatory (w nawiasach podano wykonywane operacje) , strzałki wskazują możliwe przemieszczenia obiektów ; podano nad nimi stan obiektów poruszających się daną drogą.

A.Struktura elastyczna

$\Gamma^{(e)}_{pl} \equiv \Gamma_{pl}$ $F^{(e)} \equiv O$



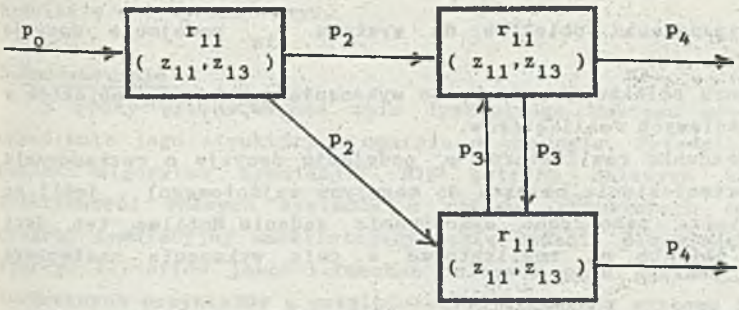
Rys. 2.Struktura elastyczna

Fig. 2.Elastic structure

B.Struktura mieszana

$\Gamma^{(m)}_{pl} = \{ (p_o, z_{12}, p_2), (p_2, z_{11}, p_3), (p_3, z_{13}, p_4) \}$

$F^{(m)} \equiv O$

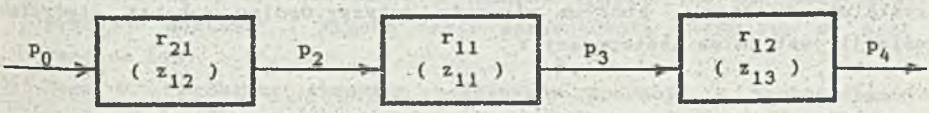


Rys.3.Struktura mieszana

Fig.3.Mixed structure

C.Struktura liniowa

$\Gamma^{(l)}_{pl} \equiv \Gamma^{(m)}_{pl}$, $\{(z_{hi}, r_{is}) : F^{(l)}(z_{hi}, r_{is})\} = \{(z_{12}, r_{21}), (z_{11}, r_{11}), (z_{13}, r_{12})\}$



Rys.4.Struktura liniowa

Fig.4.Linear structure

4. Algorytm symulacji

Algorytm symulacji systemu o strukturze elastycznej podany został w [1]. W pracy [2] przedstawiono algorytmy sterowania dla takiego systemu. Tworzone one były w oparciu o założenie, że sekwencja możliwych stanów obiektu jest z góry zadana. Szczegółowy opis algorytmów sterowania oraz pewnych algorytmów pomocniczych znaleźć można w pracy [11]. Tutaj ograniczymy się tylko do szkicowego przedstawienia algorytmu symulacji. Wprowadźmy dwie dodatkowe wielkości :

exec : $A \times R_+ \longmapsto N$ funkcja określająca dla danego A_{hn} numer zadania na nim wykonywaniego lub 0 jeśli żadne zadanie nie jest wykonywane. Przykład : $exec(A_{11},t_1)=1$ oznacza ,że w chwili t_1 na obiekcie A_{11} wykonywane jest z_{11}.

t_w : $A \times R_+ \longmapsto R_+$ funkcja określająca "czas pobytu obiektu" w ostatnio zajętym miejscu. Przykład : jeśli $a_o(1,1,t_1)=a_r(1,1)$ oraz $t_w(A_{11},t_1)=5$, oznacza to ,że obiekt A_{11} znajduje się od 5 jednostek czasu na realizatorze r_{11}.

Zauważmy przy tym, że algorytm sterowania ruchem obiektów w rozpatrywanym systemie można w naturalny sposób zdekomponować na następujące algorytmy:

A. Algorytm wprowadzania obiektów do systemu ψ_{in} podejmuje decyzje odnośnie obiektów w M_{in}.

B. Algorytm wyboru obiektu i zadania do wykonania ψ_z dotyczy obiektów w magazynach wejściowych realizatorów.

C. Algorytm rozładunku realizatorów ψ_r podejmuje decyzje o rozładowaniu realizatora (przeniesieniu obiektu do magazynu wyjściowego) , jeśli na danym realizatorze zakończono wykonywanie zadania. Możliwe też jest pozostawienie obiektu na realizatorze w celu wykonania następnego zadania.

D. Algorytm transportu obiektów z magazynów wyjściowych realizatorów ψ_t określa, czy, kiedy i dokąd mają zostać przesłane obiekty z poszczególnych magazynów S_{out}.

Algorytmy te podlegają oczywistym ograniczeniom wynikającym z przyjętych założeń (niepodzielność zadań, skończone pojemności magazynów itp) . Wywołanie któregokolwiek z nich oznacza podjęcie decyżji w stosunku do wszystkich obiektów , których algorytm dotyczy. Ogólny schemat algorytmu symulacji jest zatem następujący :

0. $k=0$; $t_k=0$ /* indeks iteracji i symulowany czas w systemie */
1. ψ_{in}
2. ψ_z
3. ψ_r
4. ψ_t
5. $\tau := \min_{A_{hn}:exec(A_{hn},t_k)\neq 0} \{ T_{hi} - t_w(A_{hn},t_k) \}$ /* $i=exec(A_{hn},t_k)$ */
6. $t_{k+1}=t_k+\tau$; $k=k+1$
7. $\forall_{A_{hn}} : a_o(h,n,t_{k-1}-A)\neq a_o(h,n,t_{k-1})$? /* $\Delta < 1$ */

TAK : idź do 1

NIE : stop

Pewnego komentarza wymaga tylko warunek stopu. Ponieważ symulacja przebiega w systemie dyskretnych zdarzeń , a jednostkę czasu można ustalić tak ,aby wszystkie wartości były całkowite ,to warunek w kroku 7 jest równoważny pytaniu "Czy nastąpiła jakaś zmiana w systemie ". Jeśli takiej zmiany nie stwierdzono , oznacza to, że albo wszystkie zadania zostały wykonane i obiekty znajdują się w M_{out} , albo nastąpiło zakleszczenie (ang.deadlock) systemu ze względu na ograniczoną pojemność magazynów. W obu przypadkach symulację należy zakończyć.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono opis dyskretnego systemu produkcji i sposób określenia jego struktury w oparciu o ten opis. Przedstawiono też ogólną postać algorytmu symulacji. Dla potrzeb dalszych badań, tj. oceny efektywności różnych systemów o różnych strukturach, opracowany został program symulacyjny umożliwiający takie badania dla wielu wariantów oraz szeregu kryteriów jakości. Tematem dalszych prac powinno być rozpatrzenie konkretnych przykładów z uwzględnieniem elementów systemu transportu [5].

Literatura

[1] Bubnicki Z., Józefczyk J.,Kilanowski S., Reyman G., Szyrkowiec A., "Modele, algorytmy sterowania i badania symulacyjne dla podstawowych procesów montażu" , Raport serii sprawozdania ISiTS PWr Nr 8/87 , Wrocław 1987.

[2] Pusz G. "Problemy struktur kompleksów operacji w zrobotyzowanych procesach produkcji", Raport serii sprawozdania ISiTS PWR Nr 17/88, Wrocław 1988.

[3] Kowalowski M.red, "Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych", WNT, Warszawa 1984.
[4] French S. "Sequencing and scheduling" Ellis Harwood Ltd, West Sussex , England 1982.
[5] Liszynskij L.J. red, "Gibkije proizwodstwiennyje sistemy Japonii", izd. Maszinostrojenije , Moskwa 1989.
[6] Chen Zhou, Pius J.E. "Scheduling in a manufacturing shop with sequence - dependent setups", Robotcs and CIM vol.5 No 1 , 1989.
[7] Bubnicki Z., Pusz G. , "O wyborze struktury w pewnych zrobotyzowanych systemach montażu ", Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Automatyka nr 970 , 1988.
[8] Pourbaba B. , "Effects of Control Strategies on the FMS ", Robotics and CIM vol. 5 No 1, 1989.
[9] Zorychta K., Ogyrczak W. "Programowanie liniowe i całkowitoliczbowe".
[10] Coffman R.Jr, "Teoria szeregowania zadań", WNT, Warszawa 1976.
[11] Kilanowski S.,Pusz G., "Wybrane problemy projektowania systemu sterowania kompleksem operacji z uwzględnienien wyboru struktury oraz różnych funkcji sterowania" , Raport serii Sprawozdania ISiTS PWR, nr 1/90 ,Wrocław 1990.

Recenzent: Doc.dr h.inż.A.Świerniak

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

A PROBLEM OF THE CHOICE OF A STRUCTURE IN A DISCRETE MANUFACTURING SYSTEM

S u m m a r y

A description of a discrete manufacturing system is presented in the paper. Some problems connected with the choice of its structure are also considered. A generalization of the structure description was proposed and decomposition of the algorithm controlling the motion of objects was introduced.

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ДИСКРЕТНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Р е з ю м е

В этой работе дано описание дискретной производственной системы и некоторые проблемы связаны с выбором её структуры. Предложено обобщённое описание структуры системы и декомпозицию алгоритма управления движением объектов.