

Grzegorz Pusz  
Politechnika Wrocławska

## STEROWANIE ELASTYCZNYM SYSTEMEM PRODUKCYJNYM Z UWZGLĘDNIENIEM DWÓCH KRYTERIÓW JAKOŚCI

Streszczenie. W pracy przedstawiono wybrany problem sterowania elastycznym systemem produkcyjnym. W skład systemu wchodzi realizatory wykonujące operacje technologiczne oraz wózki przewożące wytwarzane obiekty. Celem sterowania jest minimalizacja czasu zakończenia produkcji oraz zużytej energii. Kryteria te są przeciwstawne i powstaje problem znalezienia kompromisu. W pracy zaproponowano heurystyczny algorytm sterowania systemem i przedstawiono wyniki symulacji przebiegu procesu produkcyjnego sterowanego opisanym algorytmem.

### 1. Wprowadzenie

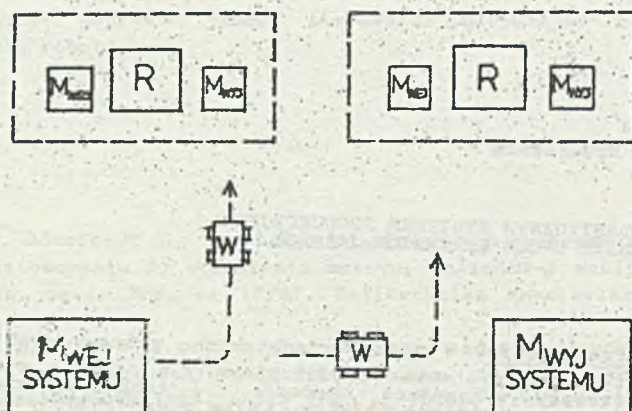
Rozważmy system produkcyjny składający się z pewnej liczby realizatorów wykonujących ustalony zbiór operacji technologicznych (rys.1). Dla każdego realizatora określony jest zbiór operacji technologicznych, jakie może on wykonywać. W systemie wytwarzane są obiekty różnych rodzajów. Proces technologiczny dla każdego rodzaju obiektu składa się z zadanej sekwencji operacji technologicznych. Kiedy operacja zostaje zakończona, obiekt jest kierowany do realizatora, który może wykonać następną operację. Jeśli realizator nie jest w tym momencie gotowy do wykonania operacji, obiekt oczekuje w kolejce na wykonanie operacji. Obiekty są transportowane przy użyciu automatycznych wózków transportowych. W systemie znajduje się określona liczba wózków, przy czym każdy z nich może jednocześnie przewozić dokładnie jeden obiekt.

W systemie takim można wydzielić dwa podsystemy: podsystem produkcyjny (realizatory wykonujące operacje technologiczne) i podsystem transportowy (wózki przewożące obiekty). Będziemy traktować ten złożony system produkcyjny jako kompleks operacji. Model matematyczny kompleksu składa się z następujących składników:

1. modele poszczególnych operacji (produkcyjnych i transportowych),
2. model struktury kompleksu.

Modele operacji są statyczne i deterministyczne. Dla danego typu realizatora wykonującego określone zadanie model podaje czas wykonania operacji. Modele operacji transportowych są analogiczne i określają czas transportu. Model struktury kompleksu (rys.2) jest określony przez ograniczenia technologiczne (niektóre operacje mogą być wykonywane dopiero po zakończeniu pewnych innych) i przedstawiany za pomocą grafu (łuki odpowiadają operacjom, a wierzchołki ich rozpoczęciu lub zakończeniu).

Praca była częściowo finansowana w ramach RP.1.02.



Rys.1. Rozważany elastyczny system produkcyjny  
Fig.1. Flexible manufacturing system of interested.

Bedziemy używać następujących oznaczeń i definicji:

- $k_h$  - ilość rodzajów obiektów,
- $A_{hn}$  -  $n$ -ty obiekt typu  $h$  ( $A$  - zbiór obiektów ),
- $E_j$  - detal typu  $j$  (np. składnik końcowego produktu w procesie montażu ),
- $A_{hn} \Delta E_j$  - relacja określająca, czy dany obiekt po zakończeniu procesu produkcyjnego jest używany jako detal dla innego rodzaju obiektu,
- $k_{zh}$  - ilość zadań, jakie trzeba wykonać dla wytworzenia obiektu typu  $h$ ,
- $z_{hi}$  -  $i$ -te zadanie produkcyjne dla obiektu typu  $h$  ( $Z$  - zbiór zadań ),
- $k_r$  - ilość typów realizatorów w systemie,
- $r_{ls}$  -  $s$ -ty realizator typu  $l$  ( $R$  - zbiór realizatorów ),
- $M_{in}(t_k), M_{out}(t_k)$  - wejściowy i wyjściowy magazyn systemu w chwili  $t_k$ ,
- $M_{oi}(t_k), M_{ei}(t_k)$  - magazyny odpowiednio: obiektów i detali dla  $i$ -tego realizatora w chwili  $t_k$ ,
- $k_w$  - ilość wózków w systemie,  $w_i$  -  $i$ -ty wózek,
- $a_{Min}, a_{Mout}$  - położenia magazynów wejściowego i wyjściowego całego systemu,
- $a_r(l,s)$  - położenie  $s$ -tego realizatora typu  $l$  (przyjmujemy, że położenia magazynów wejściowego i wyjściowego tego realizatora są takie same ),
- $a_w(i,t_k)$  - położenie  $i$ -tego wózka w chwili  $t_k$ ,
- $dist(a_1, a_2)$  - funkcja określająca możliwości poruszania się między poszczególnymi elementami systemu i odległości między położeniami  $a_1$  i  $a_2$ . Jeśli nie można przejechać z  $a_1$  do  $a_2$ , to  $dist(a_1, a_2) = -1$  (natomiast  $dist(a_2, a_1)$  może być dodatnia, co oznacza możliwość przejazdu z  $a_2$  do  $a_1$ ). Jeśli  $a_1 = a_2$ , to  $dist(a_1, a_2) = 0$ .

Zakładamy, że operacja, która została rozpoczęta, musi zostać zakończona, zanim jakkolwiek inna operacja może być wykonana na danym realizatorze. Realizator nie może wykonywać jednocześnie więcej niż jednej operacji. Czasy wykonania operacji są niezależne od ich uszeregowania i ustalone (nie ma niepewności). Zakładamy także, że realizatory i wózki nie ulegają awariom.

Każdy z realizatorów posiada dokładnie jeden magazyn wejściowy i magazyn wyjściowy oraz jeden magazyn detali. Dla każdego zadania relacja

$$z_{hi} \circ r_{ls} \in Z \times R$$

określa typy realizatorów, które mogą wykonać dane zadanie, a relacja



$$z_{hi} \circ E_j \in Z \times E$$

określa detale, jakie są niezbędne do wykonania danego zadania. Zgodnie z ograniczeniami technologicznymi do wytworzenia każdego obiektu niezbędne jest wykonanie odpowiedniej sekwencji operacji technologicznych, która dla obiektu typu  $h$  jest określona przez graf

$$\Gamma_h \subset Z_h \times Z_h.$$

Graf określa, jaki ciąg operacji technologicznych musi być wykonany, aby otrzymać gotowy obiekt. Kolejność operacji dla danego typu obiektu może nie mieć nic wspólnego z kolejnością dla innego typu obiektu. Prosty przykład grafu  $\Gamma_h$  przedstawiono na rys.2.

Zakładamy, że w dowolnej chwili wózek może przewozić tylko jeden obiekt lub detal. Pozycja początkowa wózka musi być równa pozycji któregoś z magazynów lub realizatorów, tj.

$$a_w(i,0) \in \{a_{Min}, a_{Mout}, a_r(l,s)\}.$$

Prędkość jazdy jest taka sama dla wszystkich wózków.

Będziemy traktować ten złożony system produkcyjny jako kompleks operacji [2,3], tj. nie będziemy się interesować sterowaniem realizacją poszczególnych operacji lub jazdą wózków. Jest to system zdarzeń dyskretnych z dwoma rodzajami zdarzeń: momentami rozpoczęcia i zakończenia operacji. W systemie można wyróżnić dwa rodzaje operacji:

1. operacje produkcyjne, wykonywane przez realizatory

$$O_{m,k} = \langle l, s, h, i, j, t_{rk}, t_{sk}, T_k \rangle,$$

gdzie  $O_{m,k}$  -  $k$ -ta operacja produkcyjna - zadanie  $z_{hi}$ , wykonywane przez realizator  $r_{ls}$  z użyciem detalu  $E_j$ . Operacja jest gotowa do wykonania od momentu  $t_{rk}$ , jej wykonanie rozpoczyna się w chwili  $t_{sk}$ , a czas wykonania jest równy  $T_k$ .

2. Operacje transportu, wykonywane przez wózki

$$O_{t,k} = \langle i, h, p, a_1, a_2, t_{rk}, t_{sk}, T_k \rangle,$$

gdzie  $O_{t,k}$  -  $k$ -ta operacja transportu, wykonywana przez wózek  $w_1$ , przewożący obiekt typu  $h$  w stanie  $p$  z pozycji  $a_1$  do  $a_2$ .

Model systemu produkcyjnego składa się z:

1. Zbioru obiektów  $A$ , zbioru detali  $E$  i relacji  $A_h \Delta E_j$ .
2. Zbioru zadań  $Z$ , zbioru realizatorów  $R$ , relacji  $z_{hi} \circ r_{ls}$  i  $z_{hi} \circ E_j$  (opisanych powyżej), oraz czasów wykonania operacji.
3. Ograniczeń technologicznych, reprezentowanych przez graf  $\Gamma_h \subset Z_h \times Z_h$ .
4. Zbiorów reprezentujących wejściowy i wyjściowy magazyn systemu  $M_{in}(t_k)$ ,  $M_{out}(t_k)$ , magazynów obiektów  $M_{ok}(t_k)$  i detali  $M_{ek}(t_k)$  w chwili  $t_k$ .
5. Zbioru wózków z danymi położeniami początkowymi  $a_w(i,0)$ .
6. Pozycji magazynów:  $a_{Min}$ ,  $a_{Mout}$  i realizatorów  $a_r(l,s)$ .
7. Funkcji  $dist(a_1, a_2)$ , określającej możliwości ruchu i odległości między elementami systemu położonymi w punktach  $a_1$  i  $a_2$ .

Celem sterowania jest wytworzenie zadanej liczby obiektów  $N_h$  każdego z rodzajów przy spełnieniu ograniczeń technologicznych, minimalizacji czasu zakończenia produkcji i minimalizacji energii zużytej w trakcie procesu. Zakładamy, że energia jest proporcjonalna do długości drogi przejechanej przez wszystkie wózki. Wskaźnik jakości sterowania jest następujący:

$$Q = c_1 T + c_2 L \quad (1)$$

gdzie:  $c_1, c_2$  - współczynniki kosztu,

$T$  - czas zakończenia produkcji,

$L$  - długość drogi przejechanej przez wszystkie wózki.

Obydwa kryteria jakości - czas  $T$  i droga  $L$  - są oczywiście przeciwstawne i

powstaje problem znalezienia odpowiedniego kompromisu.  
Obecnie możemy sformułować następujący problem sterowania:

### Problem sterowania

Dla danego opisu systemu (1) - (7) i liczby  $N_h$  obiektów każdego z rodzajów do wytworzenia należy znaleźć:

- i) uszeregowanie operacji produkcyjnych  $O_{m,k}$  dla każdego realizatora  $r_{1s}$ ,
  - ii) uszeregowanie operacji transportu  $O_{t,k}$  dla każdego wózka  $w_i$ ,
- które minimalizuje wskaźnik jakości sterowania (1) i spełnia ograniczenia technologiczne.

## 2. Przykład rozwiązania zadania

Rozważmy następujący prosty model systemu produkcyjnego:

$k_h = 1$  ( jeden rodzaj obiektów do wytworzenia ),

$N_1 = 5$  ( należy wytworzyć pięć obiektów ),

$k_{z1} = 3$  ( należy wykonać trzy zadania technologiczne ).

Kolejność wykonywania zadań ( ograniczenia technologiczne ) jest przedstawiona w postaci grafu na rys. 2.

$k_r = 2$  ( dwa typy realizatorów ),

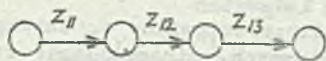
$k_{r1} = 2$  ( dwa realizatory pierwszego typu, wykonujące zadania  $z_{11}$  i  $z_{13}$  ),

$k_{r2} = 1$  ( jeden realizator drugiego typu, wykonujący zadanie  $z_{12}$  ),

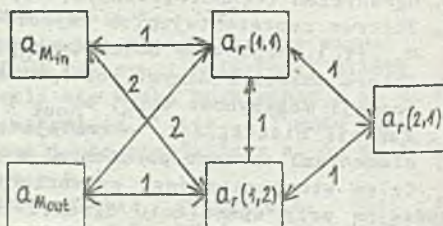
$k_w = 1$  ( jeden wózek ),

$a_w(1,0) = a_{Min}$  ( w chwili początkowej wózek znajduje się przy magazynie wejściowym systemu ).

Do produkcji nie są potrzebne żadne dodatkowe detale. Pojemność magazynów jest bardzo duża - mogą one pomieścić wszystkie obiekty. Możliwość przejazdu wózków i odległości między elementami systemu przedstawiono na rys. 3.



Rys.2.Graf  $\Gamma_k$  (kolejność operacji)  
Fig.2. $\Gamma_k$  graph (operations sequence)

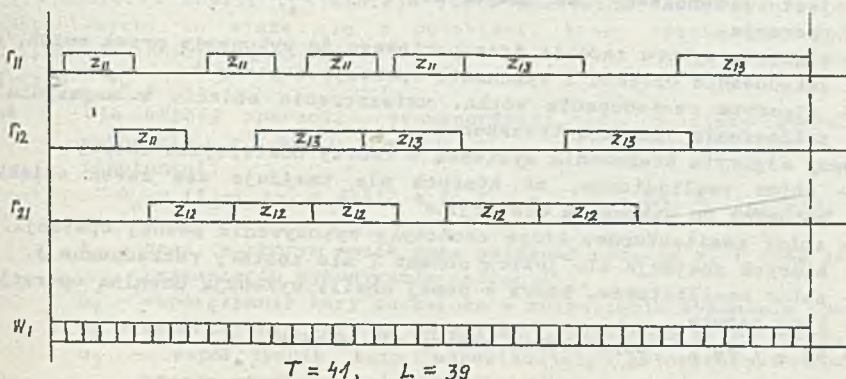


Rys.3.Odległość między elementami systemu  
Fig.3.Distances of the elements of the system

Dla tak sformułowanego zadania możliwe jest uszeregowanie tak operacji produkcyjnych, jak i transportowych na bardzo wiele sposobów. Dla

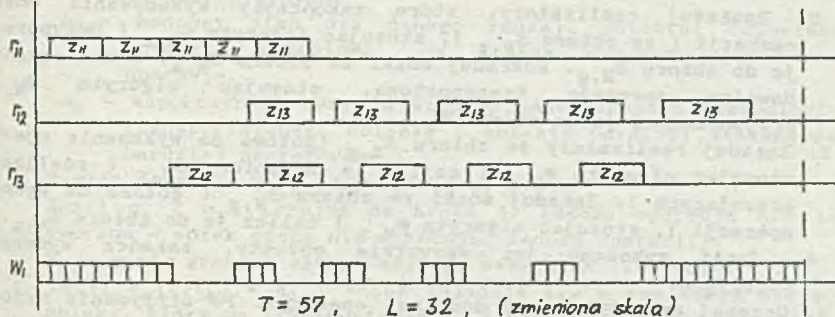


przykładowe rozwiązania problemu przedstawiają rys.4 i rys.5. Na rys.4 przedstawiono wykresy Gantta dla wszystkich realizatorów i wózków. W tym przypadku współczynnik kosztu  $c_1$  jest większy niż współczynnik  $c_2$ . Operacje są uszeregowane w sposób, który minimalizuje czas zakończenia produkcji, ale nie długość drogi przejechanej przez wózki. W przypadku przedstawionym na rys.5 współczynnik kosztu  $c_2$  dla drogi przejechanej przez wózki jest większy niż  $c_1$  i długość drogi jest minimalna przy jednoczesnym znacznym zwiększeniu czasu zakończenia produkcji.



Rys. 4 Uszeregowanie minimalizujące czas zakończenia produkcji

Fig.4. Sequence minimizing the end-of-manufacturing time



Rys. 5 Uszeregowanie minimalizujące drogę przejechana przez wózki

Rys.5. Sequence minimizing the car path

### 3. Algorytm sterowania systemem uwzględniający oba kryteria jakości

Postawiony problem jest silnie NP-zupełny i bardzo trudny do rozwiązania bezpośredniego. Dlatego heurystyczny algorytm znajdowania sterowania został zdekomponowany na następujące cztery podalgorytmy:

$\Psi_{R,z}$  - algorytm wyboru zadania do wykonania przez realizator ( spośród możliwych do wykonania zadań na obiektach z magazynu

wejściowego realizatora), dostarczenia odpowiednich detali i wykonania operacji przez realizator.

$\Psi_{R,r}$  - algorytm umieszczenia obiektu w magazynie po wykonaniu na nim operacji technologicznej, określenia następnego zadania do wykonania i realizatora, na którym zadanie ma być wykonane. Jeśli możliwe jest wykonanie następnego zadania na tym samym realizatorze; obiekt nie jest przenoszony do magazynu, i rozpoczynana jest następna operacja.

$\Psi_{W,z}$  - algorytm wyboru zadania transportowego do wykonania przez wózek, ew. załadowania obiektu i wykonania operacji ( jazdy ).

$\Psi_{W,r}$  - algorytm rozładowania wózka, umieszczenia obiektu w magazynie po zakończeniu operacji transportu.

Główny algorytm sterowania systemem  $\Psi$  tworzy następujące zbiory:

$S_{R,g}$  - zbiór realizatorów, na których nie znajduje się żaden obiekt, i gotowych do wykonania operacji,

$S_{R,s}$  - zbiór realizatorów, które skończyły wykonywanie pewnej operacji, na których znajduje się jeszcze obiekt ( nie zostały rozładowane ),

$S_{R,p}$  - zbiór realizatorów, które w danej chwili wykonują dowolną operację - są zajęte,

$S_{W,g}$ ,  $S_{W,s}$ ,  $S_{W,p}$  - odpowiednie zbiory dla wózków.

Główny algorytm sterowania jest następujący:

- Krok 1. Inicjalizacja systemu. Wszystkie realizatory i wózki zostają zaliczone odpowiednio do zbiorów  $S_{R,g}$  i  $S_{W,g}$ .
- Krok 2. Rozładuj realizatory, które zakończyły wykonywanie dowolnej operacji ( ze zbioru  $S_{R,s}$  ), stosując algorytm  $\Psi_{R,r}$  i przyporządkuj je do zbioru  $S_{R,g}$ . Rozładuj wózki ze zbioru  $S_{W,s}$ , które zakończyły dowolną operację transportową, stosując algorytm  $\Psi_{W,r}$  i przyporządkuj je do zbioru  $S_{W,g}$ .
- Krok 3. Załaduj realizatory ze zbioru  $S_{R,g}$  (gotowe do wykonania operacji) stosując algorytm  $\Psi_{R,z}$  i zalicz je do zbioru  $S_{R,p}$  ( realizatorów pracujących ). Załaduj wózki ze zbioru  $S_{W,g}$  ( gotowe do wykonania operacji ), stosując algorytm  $\Psi_{W,z}$  i zalicz je do zbioru  $S_{W,p}$ .
- Krok 4. Jeśli wykonano już wszystkie obiekty, zakończ wykonywanie algorytmu.
- Krok 5. Oczekuj na zakończenie dowolnej operacji. Po otrzymaniu sygnału o zakończeniu jednej lub więcej operacji w chwili  $t=t_k$ , przenieś realizatory, które skończyły operacje ze zbioru  $S_{R,p}$  do zbioru  $S_{R,s}$  i wózki, które skończyły operacje transportu ze zbioru  $S_{W,p}$  do zbioru  $S_{W,s}$ . Przejdź do Kroku 2.

W niniejszej pracy nacisk położony jest na zbadanie wpływu rodzaju algorytmu  $\Psi_{W,z}$  - wyboru operacji transportowej do wykonania przez wózek - na efektywność sterowania systemem produkcyjnym dla danego dwukryterialnego zadania sterowania. Dlatego pozostałe trzy algorytmy heurystyczne nie będą dokładniej omawiane. Są one ustalone, natomiast zmieniany będzie algorytm  $\Psi_{W,z}$  lub jego parametry. W niniejszej pracy algorytm  $\Psi_{R,z}$  wybiera i magazynu wejściowego realizatora obiekt do wykonania następnej operacji zgodnie z zasadą FIFO. Algorytm  $\Psi_{R,r}$  rozładowania realizatora wykonuje następną operację na obiekcie na tym samym realizatorze, jeśli jest to możliwe. Jeśli nie jest to możliwe, następna operacja jest wykonywana na tym realizatorze, którego kolejka obiektów w magazynie wejściowym jest



najmniejsza i do tego realizatora obiekt jest przewożony przez wózek. Algorytm  $\Psi_{W,r}$  rozładowania wózka jest bardzo prosty i przenosi obiekt z wózka do magazynu.

Zostanie teraz opisany dokładniej algorytm  $\Psi_{W,z}$  wyboru operacji transportowej do wykonania przez wózek. Algorytm ten ma zasadnicze znaczenie dla efektywnego działania układu sterowania. Algorytm wyznacza dla każdego z wózków gotowych do wykonania operacji w chwili  $t=t_k$  operację do wykonania. W chwili  $t_k$  istnieje lista możliwych do wykonania operacji transportowych, co wiąże się z obiektami, które trzeba przemieścić z magazynów do innych magazynów.

Algorytm  $\Psi_{W,z}$

Krok 1. Dla każdej operacji transportowej  $O_{t,k}$  z listy operacji do wykonania w danej chwili  $t_k$ , oblicz następujący wskaźnik istotności:

$$q_k = (t_d - t_k)\alpha_1 + \text{dist}(a_w(i, t_k), a_2)\alpha_2 + h\alpha_3 + (p_{hf} - p)\alpha_4 \quad (2)$$

gdzie:

$t_d$  - czas, w którym wózek może osiągnąć pozycję  $a_1$  ( czas zwłoki w rozpoczęciu wykonywania operacji ),

$\alpha_1$  - współczynnik kary za zwłokę w rozpoczęciu wykonania operacji,

$\alpha_2$  - współczynnik kary za odległość przejechaną przez wózek,

$\alpha_3$  - współczynnik kary odpowiadający priorytetowi rodzaju transportowanego obiektu ( obiekty o najniższych numerach typu mają najwyższy priorytet ),

$p$  - stan transportowanego obiektu, tzn. ilość wykonanych operacji technologicznych,

$p_{hf}$  - końcowy stan dla danego rodzaju obiektu, odpowiadający gotowemu obiektowi, na którym wykonano już wszystkie operacje,

$\alpha_4$  - współczynnik kary za stopień zaawansowania technologicznego transportowanego obiektu ( obiekty bardziej zaawansowane są bardziej preferowane ).

Krok 2. Znajdź operację  $O_{t,k}$ , dla której  $q_k = \min$ .

Jeśli  $q_k \geq \alpha_5$ , przejdź do Kroku 5. (żadna operacja nie została wybrana - wózek czeka nie wykonując żadnej operacji).

$\alpha_5$  - górna granica akceptowalnego wskaźnika istotności ( 2 ).

Krok 3. Jeśli  $a_w(i, t_k) = a_1$  ( wózek znajduje się w tym samym miejscu, co obiekt, który ma transportować ), załaduj wózek, rozpocznij jazdę i przejdź do Kroku 5.

Krok 4. Jeśli  $a_w(i, t_k) \neq a_1$  ( wózek znajduje się w innym miejscu, niż obiekt, który ma być transportowany ), rozpocznij jazdę pustym wózkiem do położenia  $a_1$  i przejdź do Kroku 5.

Krok 5. Zakończ algorytm wyboru operacji dla i-tego wózka.

Dobierając we właściwy sposób współczynniki  $\alpha_1 - \alpha_5$  algorytmu, możemy uwzględnić w różnym stopniu wagi poszczególnych składników wskaźnika jakości sterowania (1).

#### 4. Omówienie własności opracowanego algorytmu na podstawie symulacji

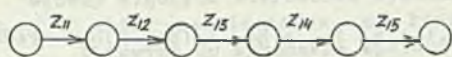
Dla zbadania własności opracowanego algorytmu przeprowadzono dużą liczbę

symulacji komputerowych dla różnych modeli systemów produkcyjnych. Badana była jakość sterowania uzyskanego przy stosowaniu algorytmu, a także czas znajdowania rozwiązania. Wyniki zostaną omówione na następującym prostym przykładzie systemu produkcyjnego:

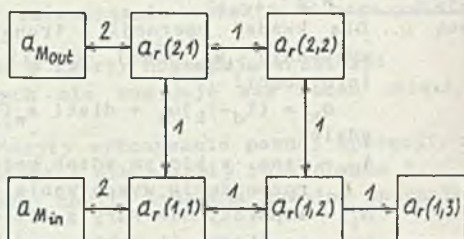
$k_z = 1$  ( jeden rodzaj obiektu do wytworzenia )

$k_{z1} = 5$  ( należy wykonać pięć zadań technologicznych ).

Kolejność wykonywania zadań ( ograniczenia technologiczne ) jest przedstawiona w postaci grafu na rys. 6.



Rys. 6. Graf  $\Gamma_h$  (kolejność operacji)  
Fig. 6.  $\Gamma_h$  graph (operations sequence)



Rys. 7. Odległość między elementami systemu  
Fig. 7. Distances of the elements of the system

$k_{r1} = 3$  ( trzy realizatory pierwszego typu, wykonujące zadania  $z_{11}, z_{13}, z_{15}$  ),

$k_{r2} = 2$  ( dwa realizatory drugiego typu, wykonujący zadania  $z_{12}, z_{14}$  ),

$k_w = 3$  ( trzy wózki ),

$a_w(1,0) = a_{Min}$  ( w chwili początkowej wózki znajdują się przy magazynie wejściowym systemu ).

Możliwości przejazdu wózków i odległości między elementami systemu przedstawiono na rys. 7. Wyniki symulacji są przedstawione w tabeli 1. Podano tam wartości obydwu kryteriów sterowania T i L dla różnego wyboru parametrów algorytmu  $\alpha_1 - \alpha_5$ . Symulacja była prowadzona przy użyciu specjalnie opracowanego programu FLEX\_SYSTEM do modelowania przebiegu procesu produkcji w elastycznym systemie wytwarzania.

TABELA 1.

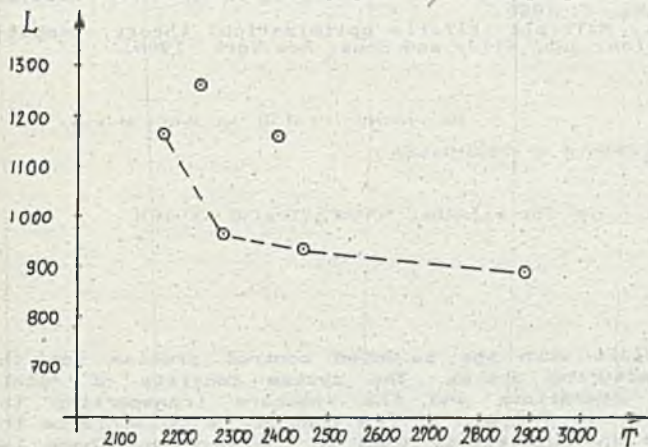
$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	T	L
5	1	1	1	100	2240	1250
5	1	1	3	100	2172	1148
3	1	1	5	100	2285	962
1	1	1	1	100	2393	1156
1	5	1	1	15	2447	934
1	5	1	1	8	2890	898

Właściwy dobór parametrów algorytmu jest bardzo ważny dla uzyskania odpowiedniej wartości kryterium jakości sterowania. Jeśli celem sterowania jest minimalizacja długości drogi przejechanej przez wózki, należy wybrać



duże wartości  $\alpha_2$  (współczynnika kary za odległość) i małą wartość  $\alpha_1$  (współczynnika kary za czas opóźnienia). Należy także ustalić małą wartość  $\alpha_5$  (górnej granicy akceptowalnego wskaźnika istotności operacji). Jeśli  $\alpha_5$  jest małe, wózek nie będzie przewoził odległych obiektów. Z drugiej strony, jeśli celem sterowania jest minimalizacja czasu zakończenia produkcji, należy wybrać małe  $\alpha_2$  i duże  $\alpha_1$  i  $\alpha_5$ . Wpływ wartości parametru  $\alpha_4$  (współczynnika kary za stopień zaawansowania technologicznego obiektu) na wyniki sterowania jest mniej oczywisty. Wpływ ten silnie zależy od modelu systemu produkcyjnego, a zwłaszcza od liczby rodzajów wytwarzanych obiektów. Ogólnie, większe wartości tego parametru dają lepsze rezultaty (co odpowiada preferowaniu zaawansowanych technologicznie obiektów). Parametr  $\alpha_3$  jest istotny w systemach, w których wytwarzanych jest wiele rodzajów obiektów. W takiej sytuacji wybór priorytetu rodzaju obiektu względem innych typów obiektów ma duże znaczenie. Główny obiekt produkcji powinien mieć przyporządkowany najwyższy priorytet. Im więcej operacji wymaga wytworzenie danego typu obiektu, tym większy priorytet powinien mieć ten typ. Tak jak w przypadku  $\alpha_4$ , wpływ  $\alpha_3$  silnie zależy od modelu systemu, liczby wykonywanych operacji i typów obiektów.

Zmieniając parametry algorytmu możemy w różnym stopniu uwzględnić wagi obydwu składników kryterium jakości sterowania - T i L. Wyniki mogą być przedstawione jak na rys. 8, gdzie oś odciętych odpowiada czasowi zakończenia produkcji, a oś rzędnych drodze przejechanej przez wózek. Wybierając punkty odpowiadające rozwiązaniom, dla których poprawa jednego z kryteriów nie jest możliwa bez pogorszenia drugiego, otrzymujemy zbiór



Rys. 8. Porównanie rozwiązań uwzględniające obydwa kryteria

Fig. 8. Comparison of the solutions considering both criteria

rozwiązań efektywnych (punkty połączone przerywaną linią są najlepszymi wynikami otrzymanymi w drodze szerokiej symulacji, ale ponieważ nie jest możliwy zupełny przegląd, może się okazać, że istnieją rozwiązania efektywniejsze). Takie poszukiwanie najlepszego rozwiązania poprzez zmianę parametrów algorytmu - lub poprzez zmianę algorytmu heurystycznego - może być przeprowadzone tylko za pomocą odpowiedniego programu komputerowego. Kiedy zostanie zakończone, użytkownik może wybrać rozwiązanie najbardziej mu odpowiadające z punktu widzenia kryterium (1) lub innego. W ten sposób

można utworzyć interakcyjną procedurę poszukiwania najlepszego rozwiązania.

Jak widać na rys.8, niewielkie zmniejszenie drogi przejechanej przez wózki powoduje względnie duże zwiększenie czasu zakończenia produkcji dla rozważanego systemu. Użytkownik może wybrać najlepsze rozwiązanie, biorąc pod uwagę wagi  $c_1$  i  $c_2$  obydwu kryteriów. Dokonano dużej liczby eksperymentów symulacyjnych działania algorytmu dla różnych modeli systemów. Wyniki wskazują, że algorytm może być zastosowany do efektywnego znajdowania sterowania zbliżonego do optymalnego w sensie kryterium (1). W dalszych pracach planuje się ulepszenie algorytmu poprzez uwzględnienie "zapotrzebowania" na określony obiekt w danym momencie, a także zbadanie efektywności działania całego algorytmu sterowania w zależności od wyboru podalgorytmów realizujących poszczególne funkcje.

#### LITERATURA

- [ 1 ] Assembly Automation. Proc. of V Int. Conf. IFS, Paris 1984.
- [ 2 ] Bubnicki Z., Two-level optimization and control of the complex of operations, VI IFAC Congress, Pergamon Press, Helsinki 1978.
- [ 3 ] Czechowicz K., Malave N., A complex of operations approach to the optimal control of the set of plants, Systems Science, vol. 5, No. 4, 1979.
- [ 4 ] Dayhoff J.E., Atherton R.W., A model for wafer fabrication dynamics in integrated circuit manufacturing, IEEE Trans. on Syst., Man and Cybernetics, vol SMC-17, No 1, 1987.
- [ 5 ] Pourbaba B., Effects of control strategies on the FMS, Robotics and CIM, vol.5, No. 1, 1989.
- [ 6 ] Steuer R.E., Multiple criteria optimization: theory, computation and application, John Wiley and Sons, New York 1986.

Receiwent: Profrdr nr JKowalowski

Archiwum do Kodaku nr dy 1990-04-30

#### TWO-CRITERIA ANALYSIS OF THE FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

S. G. PUSZ

The paper deals with the selected control problem for the flexible manufacturing system. The system consists of robots performing the operations and the robocars transporting the manufactured objects. The aim of the control is to minimize the completion time and the energy used in the process. These two criteria are contradictory and a compromise must be found. In the paper the heuristic algorithm of the control is proposed and the results of simulation of the manufacturing process are presented.



УПРАВЛЕНИЕ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ ЧИТАЯКОВ ДВА  
КРИТЕРИЯ КАЧЕСТВА

## Резюме

В работе рассматривается избранная проблема управления гибкой производственной системой. В состав системы входят реэлизиаторы, выполняющие операции и тележки, перевозящие изготавливаемые объекты. Цель управления – сведение к минимуму производственного времени и использованной энергии. Эти критерии противоположные и возникает проблема компромиса. В работе разработан алгоритм управления системой и представлены результаты компьютерной симуляции процесса управления.