

Grzegorz Pusz

Politechnika Wrocławska

ALGORYTM WYZNACZANIA STEROWANIA DYSKRETNYM SYSTEMEM PRODUKCYJNYM METODĄ KOLEJNYCH PRZYBLIŻEŃ

ALGORITHM FOR THE CONTROL OF A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM WITH THE USE OF SUCCESSIVE APPROXIMATIONS METHOD

УПРАВЛЕНИЕ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ МЕТОДОМ ОЧЕРЕДНЫХ АППРОКСИМАЦИИ

Streszczenie. W pracy rozważane jest zadanie sterowania dyskretnym systemem produkcyjnym. Celem sterowania jest minimalizacja czasu wykonania zadania i drogi przejechanej przez środki transportu. Zadanie jest dekomponowane na problemy sterowania operacjami technologicznymi i transportowymi. Badane są własności opracowanego algorytmu sterowania metodą kolejnych przybliżeń. Dokonano porównania opracowanego algorytmu z innymi znanymi algorytmami.

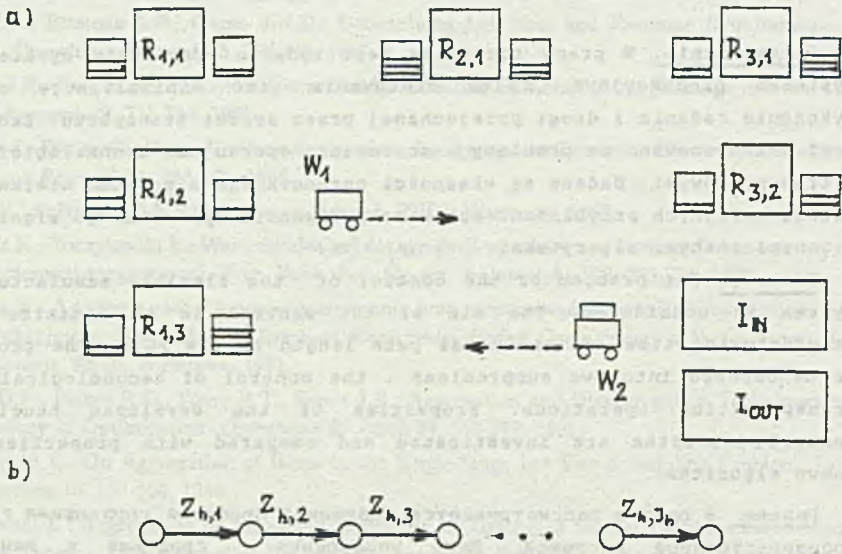
Summary. The problem of the control of the flexible manufacturing system is considered. The aim of the control is to minimize the manufacturing time and the total path length of the AGVs. The problem is decomposed into two subproblems: the control of technological and transportation operations. Properties of the developed heuristic control algorithm are investigated and compared with properties of known algorithms.

Резюме: В работе рассматривается избранная проблема управления гибкой производственной системой. Цель управления - сведение к минимуму производственного времени и пути пробитой средствами транспорта. В работе описаны свойства разработанного алгоритма управления системой.

### 1. Zadanie sterowania dyskretnym systemem produkcyjnym

Rozważany w pracy dyskretny system produkcyjny ma za zadanie wykonanie określonego ciągu zadań technologicznych na obiektach. Przykładowi zadań technologicznych mogą być np. zadania toczenia, wiercenia, montażu czy malowania. Ilość rodzajów obiektów, na których należy wykonać zadania, będziemy oznaczać przez  $N$ . Na wszystkich obiektach należących do tego samego rodzaju należy wykonać taki sam ciąg zadań technologicznych. Ilość obiektów rodzaju  $N$  oznaczymy przez  $N_h$ , gdzie  $h \in \overline{1, N}$ , a obiekt rodzaju  $h$  o numerze  $n$  przez  $A_{h,n}$ , gdzie  $n \in \overline{1, N_h}$ . Ilość zadań technologicznych, jakie należy wykonać na każdym z obiektów rodzaju  $h$ , oznaczymy przez  $J_h$ , a zadanie technologiczne o numerze  $i \in \overline{1, J_h}$  dla obiektu rodzaju  $h$  oznaczymy

przez  $z_{h,1}$ . W ten sposób dla obiektów każdego rodzaju  $h$  zdefiniowany jest ciąg zadań technologicznych do wykonania  $z_{h,1}, z_{h,2}, \dots, z_{h,J_h}$ , który może być przedstawiony w postaci grafu jak na rys. 1b. Dla każdego z zadań  $z_{h,i}$  jest jednoznacznie określony typ realizatora, który może wykonać to zadanie, oznaczany przez  $\rho_{h,i}$  (zadanie może zostać wykonane przez dowolny realizator tego typu). Zakładamy, że wykonywanie zadania nie może zostać przerwane, a czasy wykonania każdego z zadań  $z_{h,i}$ , oznaczone przez  $t_{h,i}$ , są dane i jednakowe dla wszystkich obiektów danego rodzaju.



Rys. 1. a) Przykład rozważanego systemu produkcyjnego,  
b) ciąg zadań technologicznych do wykonania  
Fig. 1. a) Example of considered manufacturing system,  
b) The sequence of technological operations

Przykładami realizatorów zadań technologicznych pracujących w systemie mogą być np. obrabiarki sterowane numerycznie, roboty itp. Każdy z realizatorów może wykonać określony zbiór zadań technologicznych, przy czym o realizatorach wykonujących ten sam zbiór zadań będziemy mówić, że należą do jednego typu  $l \in \overline{1, M}$ , gdzie  $M$  - ilość typów realizatorów w systemie. Realizator typu  $l$  o numerze  $m \in \overline{1, M_l}$  będziemy oznaczać przez  $R_{l,m}$ , gdzie  $M_l$  - ilość realizatorów typu  $l$  w systemie. Z każdym realizatorem związane są dwa magazyny - wlotowy i wylotowy. Obiekty, na których dany realizator ma wykonać zadania technologiczne, są dostarczane przez środki transportu do magazynu wejściowego tego



realizatora ( patrz rys. 1a ). Po zakończeniu zadania technologicznego obiekt umieszczany jest w magazynie wyjściowym realizatora. Obiekty mogą być pobierane z magazynów w dowolnej kolejności. Umieszczenie obiektu w magazynie jest możliwe, jeśli liczba obiektów w magazynie jest mniejsza od jego pojemności. Pojemność magazynu wejściowego realizatora  $R_{1,m}$  będziemy oznaczać przez  $V_{i,1,m}$ , a pojemność magazynu wyjściowego tego realizatora przez  $V_{o,1,m}$ . W chwili początkowej wszystkie obiekty znajdują się w magazynie wejściowym systemu  $I_{IN}$ . Po wykonaniu wszystkich zadań technologicznych z zadanego dla obiektu danego rodzaju ciągu obiekt przewożony jest przez środek transportu do magazynu wyjściowego systemu  $I_{OUT}$ .

W czasie pracy systemu obiekty są przemieszczane między odpowiednimi magazynami przez środki transportu, którymi mogą być np. wózki automatyczne ( AGV - automated guided vehicles ). Zatem oprócz zadań technologicznych w czasie działania systemu są do wykonania zadania transportowe. Pierwszym zadaniem wykonywanym na dowolnym obiekcie w systemie jest zadanie transportowe polegające na przewiezieniu go z magazynu wejściowego systemu do magazynu wejściowego realizatora, który wykona pierwsze zadanie technologiczne na obiekcie. Po wykonaniu zadania technologicznego na obiekcie wykonywane jest kolejne zadanie transportowe przewiezienia go do realizatora, który wykona następne zadanie technologiczne. W ten sposób dla danego ciągu zadań technologicznych określony jest ciąg zadań transportowych  $\beta_{h,0}, \beta_{h,1}, \dots, \beta_{h,j_h}$ , polegających na przewożeniu obiektu do magazynów realizatorów odpowiednich typów.

Liczbę środków transportu w systemie oznaczymy przez  $K$ , a środek transportu o numerze  $g \in \overline{1, K}$  przez  $W_g$ . Zakładamy, że wszystkie środki transportu w systemie są jednakowe. Każdy z nich może pomieścić w dowolnej chwili najwyżej jeden obiekt. W chwili początkowej wszystkie środki transportu znajdują się w magazynie środków transportu  $I_W$ . Przyjmujemy, że wszystkie środki transportu poruszają się z jednakową, jednostkową prędkością. Ponadto przyjmujemy, że nie przeszkadzają one sobie wzajemnie, tj. nie rozważamy możliwości kolizji między środkami transportu. Przy tych założeniach czas przejazdu między dwoma magazynami jest równy ich odległości. Przyjmujemy, że położenia magazynów wejściowego i wyjściowego realizatora są takie same, jak położenie realizatora. Odległości pomiędzy magazynami realizatorów  $R_{11,m_1}$  i  $R_{12,m_2}$  podaje dla dowolnych dwóch realizatorów funkcja  $d(l_1, m_1, l_2, m_2)$ .

Operacją technologiczną będziemy nazywać wykonanie zadania technologicznego na konkretnym obiekcie przez określony realizator odpowiedniego typu. Dla zadania technologicznego w odróżnieniu od operacji nie jest określony numer realizatora, który ma je wykonać, ani moment rozpoczęcia wykonywania. Operację technologiczną polegającą na wykonaniu zadania technologicznego  $z_{h,i}$  na obiekcie  $A_{h,n}$  będziemy oznaczać przez

$O_{h,n,i}$ . Jest ona określona przez zdefiniowanie:  $m_{h,n,i}$  - numeru realizatora typu  $\rho_{h,i}$ , na którym operacja będzie wykonana, oraz  $b_{h,n,i}$  - momentu rozpoczęcia wykonywania operacji. Operacja  $O_{h,n,i}$  jest zatem zdefiniowana przez

$$O_{h,n,i} = (m_{h,n,i}, b_{h,n,i}).$$

Podobnie, wykonanie zadania transportowego przewiezienia obiektu między magazynami realizatorów odpowiednich typów, dla konkretnego obiektu i określonego położenia początkowego (magazynu) i końcowego oraz określonego numeru środka transportu, będziemy nazywać operacją transportową. Operację polegającą na wykonaniu zadania transportowego  $z_{h,j}$  na obiekcie  $A_{h,n}$  będziemy oznaczać przez  $P_{h,n,j}$ . Jest ona określona przez podanie następujących danych:

$$P_{h,n,j} = (g_{h,n,j}, l_1, m_1, l_2, m_2, s_{h,n,j})$$

gdzie:

$g_{h,n,j}$  - numer środka transportu wykonującego operację,

$l_1, m_1$  - typ i numer realizatora, z którego magazynu przewożony jest obiekt,

$l_2, m_2$  - typ i numer realizatora, do magazynu którego przewożony jest obiekt,

$s_{h,n,j}$  - moment rozpoczęcia wykonywania operacji.

Zadanie sterowania opisanym powyżej dyskretnym systemem produkcyjnym jest zdefiniowane następująco:

Dane:

1. zbiór realizatorów systemu

$$R = \{ R_{1,m} : 1 \in \overline{1,M}, m \in \overline{1,M_1} \},$$

2. zbiór środków transportu systemu

$$W = \{ W_g : g \in \overline{1,K} \},$$

3. pojemności magazynów wszystkich realizatorów

$$V_{i,1,m}, V_{o,1,m} \text{ dla } 1 \in \overline{1,M}, m \in \overline{1,M_1},$$

4. odległości między magazynami, tj. funkcja

$$d(l_1, m_1, l_2, m_2), \text{ gdzie } l_1, l_2 \in \overline{1,M}, m_1, m_2 \in \overline{1,M_1},$$

5. zbiór obiektów

$$A = \{ A_{h,n} : h \in \overline{1,N}, n \in \overline{1,N_h} \},$$

6. zbiór zadań technologicznych do wykonania

$$Z = \{ Z_{h,i} : h \in \overline{1,N}, i \in \overline{1,J_h} \},$$

7. typ realizatora, który może wykonać zadanie  $z_{h,i}$

$$\rho_{h,i}, \text{ gdzie } h \in \overline{1,N}, i \in \overline{1,J_h},$$

8. czas wykonania zadania  $z_{h,i}$

$$t_{h,i}, \text{ gdzie } h \in \overline{1,N}, i \in \overline{1,J_h}.$$

Wyznaczyć:

1.  $g_{h,n,j}, a_{1,h,n,j}, a_{2,h,n,j}, s_{h,n,j}$  dla  $h \in \overline{1,N}, n \in \overline{1,N_h}, j \in \overline{0,J_h}$ ,  
tj. uszeregować wszystkie operacje transportowe,



2.  $m_{h,n,i}$ ,  $b_{h,n,i}$ , dla  $h \in \overline{1,N}$ ,  $n \in \overline{1,N_h}$ ,  $i \in \overline{1,J_h}$ ,

tj. uszeregować wszystkie operacje technologiczne, tak, aby otrzymane uszeregowanie było dopuszczalne ( tj. spełniało ograniczenia kolejnościowe i wynikające z ograniczonej pojemności magazynów ) oraz minimalizowało kryterium jakości

$$Q = \lambda_1 T + \lambda_2 L.$$

gdzie:

T - czas wykonania wszystkich zadań w systemie,

L - droga przebyta przez wszystkie środki transportu podczas wykonania wszystkich zadań,

$\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  - dane współczynniki dodatnie, których suma jest równa jedności.

Przyjęte w powyższym sformułowaniu zadania rozróżnienie operacji technologicznych i transportowych jest uzasadnione z jednej strony dwukryterialnym kryterium jakości Q, a z drugiej szczególnymi własnościami operacji transportowych. Przed przewiezieniem obiektu środkiem transportu musi dojechać do miejsca, w którym obiekt jest przechowywany. Dlatego czasy wykonania operacji transportowych są zależne od położenia środka transportu w chwili rozpoczęcia operacji, a w konsekwencji od poprzednio wykonywanej operacji.

## 2. Przybliżony algorytm sterowania rozważanym systemem

Sformułowane powyżej zadanie sterowania dyskretnym systemem produkcyjnym jest NP-trudne ( patrz np. [ 1, 4 ] ). Z tego powodu opracowany został przybliżony algorytm jego rozwiązania. Jest on oparty na dekompozycji zadania sterowania na dwa prostsze zadania: zadanie sterowania przebiegiem operacji technologicznych i zadanie sterowania przebiegiem operacji transportowych. Dekompozycja ta nie jest oczywiście neutralna, tj. przyjęte sterowanie operacjami technologicznymi wpływa na możliwości wykonywania operacji transportowych i odwrotnie. Dekompozycja ułatwia poszukiwanie rozwiązania, ale pogarsza rezultaty sterowania. Zadania powstałe w wyniku dekompozycji są również NP-trudne ( np. [7] ). W dalszym ciągu pracy skupimy uwagę na zadaniu sterowania operacjami transportowymi przy ustalonym algorytmie sterowania operacjami technologicznymi, co umożliwi porównanie opracowanego algorytmu sterowania operacjami transportowymi z innymi znanymi algorytmami tego typu.

Przyjęty algorytm sterowania operacjami technologicznymi jest następujący. Kolejne zadanie technologiczne dla danego obiektu jest wykonywane na tym z realizatorów odpowiedniego typu, który najszybciej wykona zadania na wszystkich obiektach już umieszczonych w jego magazynie wejściowym. Realizator wybiera ze swojego magazynu wejściowego kolejny obiekt do wykonania zadania stosując regułę FIFO ( First In - First Out ),

tj. wybierając obiekt, który najdłużej czeka w magazynie. Powyższy algorytm sterowania operacjami technologicznymi został wybrany spośród wielu innych po przeprowadzeniu serii eksperymentów symulacyjnych, w których pozwalał na osiągnięcie najlepszych rezultatów.

Dla tak określonego algorytmu sterowania operacjami technologicznymi został opracowany przybliżony algorytm sterowania operacjami transportowymi. Jest to algorytm szeregowania na bieżąco, tj. decyzje o wykonaniu następnej operacji transportowej przez dany środek transportu są podejmowane w momencie  $t_k$  ukończenia wykonywania poprzedniej operacji. Oznaczmy zbiór możliwych do wykonania operacji transportowych w chwili  $t_k$  przez  $P_k$ . Algorytm sterowania dokonuje wyboru operacji do wykonania kolejno dla każdego ze środków transportu gotowych do wykonania operacji w chwili  $t_k$ . Dla danego środka transportu wybór operacji dokonywany jest następująco: dla wszystkich operacji  $P_{h,n,j} \in P_k$  wyznaczany jest wskaźnik

$$q_{h,n,j} = (t_k - r_{h,n,j}) \cdot \alpha_1 + \text{dist}(h,n,j) \cdot \alpha_2 + \\ + \text{mint}(\rho_{h,j+1}) \cdot \alpha_3 + (J_h - j) \cdot \alpha_4,$$

gdzie :

$r_{h,n,j}$  - moment gotowości operacji  $P_{h,n,j}$  do wykonania,

$\text{dist}(h,n,j)$  - droga, jaką musi przebyć dany środek transportu podczas wykonania operacji  $P_{h,n,j}$ ,

$\text{mint}(\rho_{h,j+1})$  - czas, jaki pozostał do zakończenia wykonania zadań na wszystkich obiektach z magazynu wejściowego dla tego realizatora ( typu mogącego wykonać następną operację technologiczną ), dla którego ten czas jest najkrótszy,

$\alpha_1, \dots, \alpha_4$  - parametry algorytmu ( liczby nieujemne ).

Algorytm dokonuje wyboru tej operacji transportowej do wykonania przez środek transportu, dla której wartość wskaźnika  $q_{h,n,j}$  jest najmniejsza. Następnie operacja ta jest usuwana ze zbioru  $P_k$ . Jeśli istnieją jeszcze w danej chwili środki transportu gotowe do wykonania operacji, którym operacja nie została wyznaczona, oraz jeśli zbiór  $P_k$  operacji możliwych do wykonania jest niepusty, powyższa procedura jest powtarzana dla pozostałych środków transportu.

Współczynnik  $\alpha_1$  jest powiązany ze składnikiem  $q_{h,n,j}$  wyrażającym czas oczekiwania danej operacji transportowej na wykonanie, współczynnik  $\alpha_2$  z drogą, jaką przebędzie środek transportu wykonując daną operację. Współczynnik  $\alpha_3$  jest związany z czasem, jaki będzie musiał czekać obiekt przewożony w danej operacji transportowej na wykonanie następnego zadania technologicznego, a współczynnik  $\alpha_4$  z ilością zadań technologicznych już wykonanych na obiekcie przewożonym w danej operacji transportowej. Odpowiedni dobór współczynników algorytmu pozwala na dostosowanie algorytmu sterowania systemem do różnych wymagań, a w szczególności do różnych wartości współczynników  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  kryterium jakości sterowania  $Q$ .



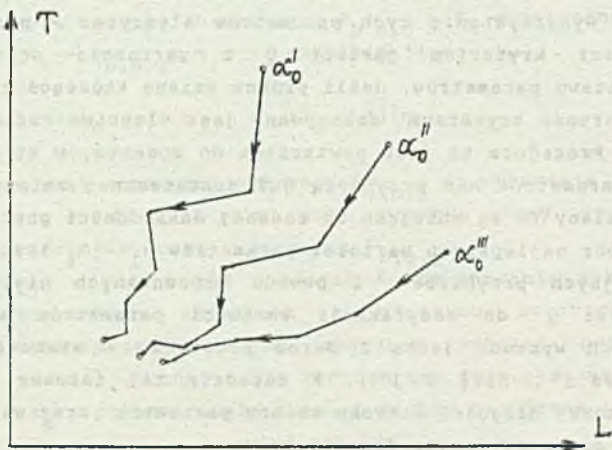
Powstaje jednak problem wyboru najlepszych parametrów  $\alpha_1 - \alpha_4$  algorytmu dla danych współczynników  $\lambda_1, \lambda_2$  i dla danego modelu systemu. Szczególnie należy podkreślić ważność problemu wyboru parametrów dla danego modelu systemu, ponieważ rozważane zadanie sterowania jest bardzo czułe nawet na małe zmiany wielkości opisujących ten model ( np. małe zmiany ilości środków transportu mogą powodować zasadniczą zmianę przebiegu sterowania).

Do rozwiązania problemu wyboru parametrów algorytmu zastosowano następującą procedurę. Na wstępie wybierany jest ustalony ( korzystny dla typowych przypadków ) początkowy zestaw parametrów  $\alpha_1 - \alpha_4$ . Następnie wyznaczane jest rozwiązanie zadania sterowania przy użyciu tego zestawu parametrów opracowanego algorytmu. W kolejnych krokach dokonuje się próbnym zmian wartości poszczególnych parametrów i po wyznaczeniu sterowania przy wykorzystaniu tych parametrów algorytmu - porównuje się uzyskane wartości kryterium jakości  $Q$  z wartością otrzymaną dla początkowego zestawu parametrów. Jeśli próbna zmiana któregoś z parametrów daje mniejszą wartość kryterium, dokonywana jest właściwa zmiana wartości tego parametru. Procedura ta jest powtarzana do momentu, w którym kolejne próbne zmiany parametrów nie przynoszą już dostatecznej zmiany kryterium jakości ( tzn. zmiany te są mniejsze od zadanej dokładności poszukiwań  $\epsilon$  ). W ten sposób wybór najlepszych wartości parametrów  $\alpha_1 - \alpha_4$  jest dokonywany na drodze kolejnych przybliżeń. Z powodu wspomnianych nieregularności kryterium jakości  $Q$  do modyfikacji wartości parametrów algorytmu w kolejnych krokach wybrano jedną z metod prostych, a mianowicie metodę Hooke'a - Jeeves'a ( np. [ 3 ] ). W metodzie tej istotny jest wybór wartości początkowej długości  $\delta$  kroku zmiany parametru oraz współczynnika korekcyjnego  $\nu$ , zmniejszającego długość kroku.

### 3. Własności opracowanego algorytmu sterowania

Własności opracowanego algorytmu sterowania dyskretnym systemem produkcyjnym zostały zbadane poprzez szereg badań symulacyjnych. Celem pierwszej części badań było zbadanie efektywności iteracyjnej procedury wyboru najlepszych wartości parametrów  $\alpha_1 - \alpha_2$  algorytmu. Wyniki wykonanych badań wskazują, że istotne znaczenie dla uzyskanych wyników ma wybór początkowej długości  $\delta$  kroku zmiany parametrów algorytmu ( w stosunku do wartości początkowych ). Zbyt mała wartość  $\delta$  prowadzi do znacznego zwiększenia ilości iteracji koniecznych do znalezienia zadowalającego zestawu parametrów, a w niektórych przypadkach prowadzi do znajdowania minimum lokalnego kryterium  $Q$  ( ze względu na parametry  $\alpha$  ) zamiast minimum globalnego. Z kolei zbyt duże wartości  $\delta$  również prowadzą do zwiększenia ilości iteracji, a ponadto mogą uniemożliwić znalezienie rozwiązania ( brak zbieżności ). W czasie badań stwierdzono, że

najkorzystniejsze są wartości  $\delta$ , dla których stosunek do początkowych wartości parametrów  $\alpha$  jest zawarty między 0.2 i 0.4. Wybór początkowych wartości parametrów  $\alpha$  ma oczywiście istotny wpływ na uzyskane rozwiązanie. Dla różnych wartości początkowych  $\alpha$  możliwe są istotne różnice uzyskanego rozwiązania ( patrz rys. 2. ), zwłaszcza dla małej początkowej długości kroku  $\delta$  ( możliwe jest wtedy znalezienie minimum lokalnego ). Wartości współczynnika korekcyjnego zmniejszającego długość kroku  $\nu$  wpływają na ilość iteracji procedury wyboru parametrów. Zbyt mała wartość  $\nu$  powoduje przedwczesne zakończenie poszukiwań i wybór parametrów odległych od najlepszych. Duże wartości  $\nu$  powodują znaczne zwiększenie ilości iteracji bez widocznej poprawy rezultatów. Podobne zależności obserwuje się przy zmianach zadanej dokładności poszukiwań  $\epsilon$ . Najkorzystniejsze okazało się przyjęcie wartości  $\nu$  między 0.4 i 0.7.



Rys. 2. Działanie procedury wyboru parametrów  $\alpha$   
 Fig. 2. The choice of parameters  $\alpha$

Celem drugiej części badań symulacyjnych było porównanie jakości rozwiązań zadania sterowania dyskretnym systemem produkcyjnym uzyskanych za pomocą opracowanego algorytmu ( dla najkorzystniejszego wyboru parametrów  $\alpha$  ) z wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu innych znanych algorytmów. Porównanie takie ( uzyskanych wartości kryterium  $Q$  ) dla typowego modelu dyskretnego systemu produkcyjnego podane jest na rys. 3. Wartości kryterium  $Q$  są tam podane dla różnych ilości środków transportu  $K$  w systemie. Porównywane są następujące algorytmy wyboru operacji transportowej do wykonania przez środek transportu :

alg.1. - wybór pierwszej operacji  $P_{h,j,n}$  z listy operacji możliwych do wykonania  $P_k$ .

alg.2. - wybór operacji, która najdłużej czeka na wykonanie,

alg.3. - wybór operacji przewiezienia obiektu, który znajduje się

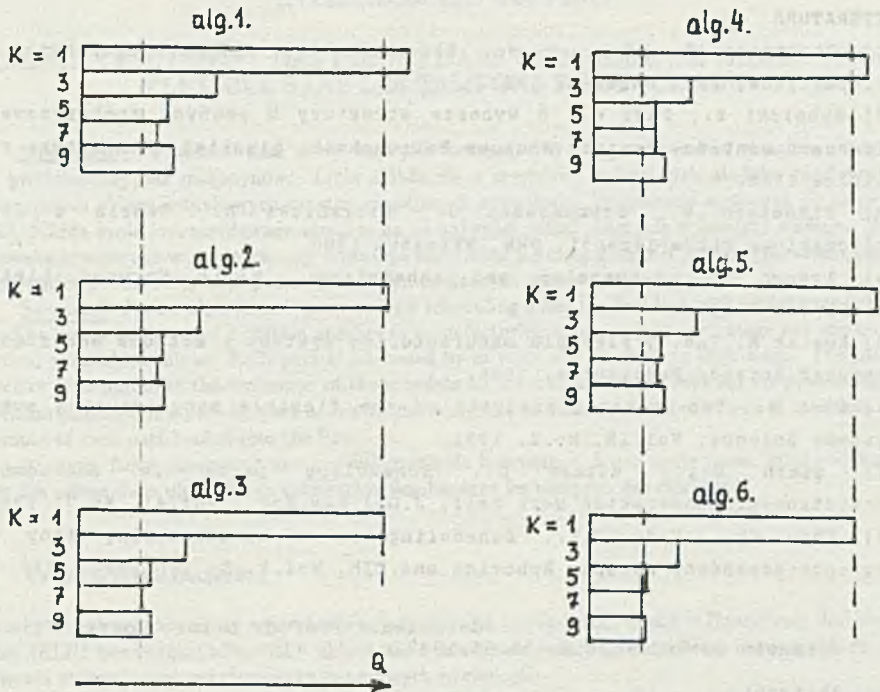


najbliższej środka transportu,

alg.4. - wybór operacji, dla której droga przebyta przez środek transportu jest najkrótsza,

alg.5 - wybór operacji przewiezienia obiektu, który będzie następnie najkrócej czekał na wykonanie następnej operacji technologicznej w magazynie wejściowym realizatora, do którego zostanie przewieziony,

alg.6 - algorytm heurystyczny opisany w niniejszej pracy.



Rys. 3. Porównanie wartości kryterium Q dla wybranych algorytmów sterowania systemem

Fig. 3. Comparison of the values of Q for various control algorithms

Po dokonaniu analizy uzyskanych wyników można wysunąć następujące wnioski. Po pierwsze, zwiększanie ilości środków transportu jest celowe tylko do pewnej granicy, powyżej której nie obserwuje się już wzrostu efektywności systemu. Po drugie, najlepsze wyniki w sensie kryterium Q uzyskuje się stosując algorytmy 6 (najlepszy) i 4. Nieco gorsze rezultaty daje algorytm 5, który pozwala jednak na najlepsze zrównoważenie czasu pracy wszystkich realizatorów tego samego typu. Wyraźnie gorsze wyniki uzyskuje się stosując algorytmy 2, 3 i 1. Należy podkreślić fakt, że w wielu prostych przypadkach modeli systemu wyniki uzyskane za pomocą -

stosunkowo ziozonego - algorytmu 6 są tylko niewiele lepsze niż dla algorytmu 4. Zaleta algorytmu 6 polega na tym, że pozwala on na uzyskanie dobrych wyników dla bardzo szerokiej klasy modeli systemów, podczas gdy pozostałe algorytmy - dając dobre wyniki dla części przypadków - w wielu "trudnych" dla siebie przypadkach dają złe wyniki. Inna ważna zaleta algorytmu 6 to możliwość dostosowania go poprzez zmiany parametrów  $\alpha$  do zmieniających się współczynników  $\lambda$  kryterium  $Q$  lub w ogóle do zmiany kryterium jakości.

#### LITERATURA

- [1] Błażewicz J., Cellary W., Słowiński R., Badania operacyjne dla informatyków, WNT, Warszawa 1983.
- [2] Bubnicki Z., Pusz G., O wyborze struktury w pewnych zrobotyzowanych procesach montażu, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka z.94, Gliwice 1988.
- [3] Findeisen W., Szymanowski J., Wierzbicki A., Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji, PWN, Warszawa 1980.
- [4] French S., Sequencing and scheduling., Ellis Horwood Limited, Chichester 1982.
- [5] Kusiak A. (ed.), Flexible manufacturing systems : methods and studies, Elsevier Science Publishers, 1986.
- [6] Pusz G., Two-criteria analysis of the flexible manufacturing system, Systems Science, Vol.18, No.2, 1992.
- [7] Stern H.I., Vitner G., Scheduling parts in a combined production-transportation work cell, J.Opl.Res.Soc., Vol.41, No.7, 1990.
- [8] Zhou Ch., Pius J.E., Scheduling in a manufacturing shop with sequence-dependent setups, Robotics and CIM, Vol.5, No.1, 1989.

Recenzent: Prof.dr h.inż. Konrad Wala

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

#### Abstract:

The problem of the control of the flexible manufacturing system is considered. The system manufactures a given set of objects of some types. For each type of object, a sequence of technological operations is defined. The system includes machines performing the technological operations and the automated guided vehicles performing the transportation operations. The aim of the control is to minimize the manufacturing time and the total path length of the AGVs. This problem is decomposed into two subproblems : the control of technological and transportation operations. A special heuristic algorithm for the control of transportation operations is developed. The algorithm takes into account the state of the system. A problem of the optimal choice of the algorithm parameters arises. This problem is solved using the successive approximations. Properties of the developed heuristic control algorithm are investigated and compared with properties of known algorithms. The developed algorithm yields good results for a wide class of flexible system models.