ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z.114 Nr kol. 1250

Jerzy JÓZEFCZYK
Politechnika Wrocławska

WYBRANY PROBLEM DWUPOZIOMOWEGO STEROWANIA KOMPLEKSEM OPERACJI PRODUKCYJNYCH Z LOKALNIE STEROWANYMI OPERACJAMI *

Streszczenie: W pracy przedstawiono wspólne ujęcie powiązanych ze sobą problemów wyboru realizatora w dyskretnym procesie produkcyjnym oraz sterowania jazdą realizatorów. Szczegółowo rozważono pierwszy z nich. Sprowadzono go do problemu ustalania tras przejazdów realizatorów pomiędzy stanowiskami z umieszczonymi na nich obiektami, na których są realizowane operacje procesu produkcyjnego. Przedstawiono ogólną metodę rozwiązania i przykładowy algorytm dla problemu wyboru realizatora.

SELECTED PROBLEM OF TWO-LEVEL CONTROL OF LOCALLY CONTROLLED OPERATIONS

Summary: A unique approach to the connected problems of the machine loading in a discrete manufacturing system and the control of the executors motion in such a system is presented. The first one is considered in detail. It is transformed into the routing problem in which the executors move among workstations with objects loaded to perform the manufacturing operations. A general method of solving the machine loading problem as well as the exemplary control algorithm are given.

EIN GEWÄHLTES PROBLEM DER ZWEISTUFIGEN STEUERUNG DER LOKALGESTEUERTEN OPERATIONEN

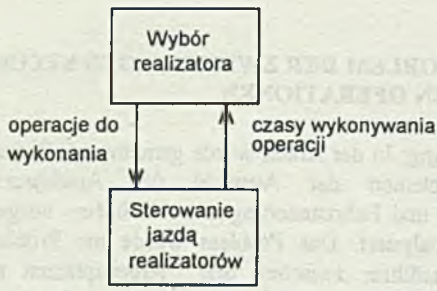
Zusammenfassung: In der Arbeit wurde gemeinsame Einstellung zu den miteinander verbundenen Problemen der Auswahl des Ausführers in einem diskreten Herstellungsprozeß und Fahrtsteuerung des Ausführers vorgestellt. Das erste Problem wurde detalliert analysiert. Das Problem wurde ins Problem der Bestimmung der Fahrtwege der Ausführer zwischen den Arbeitsplätzen mit Objekten auf denen Operationen des Herstellungsprozeßes ausgeführt werden, umgesetzt. Eine allgemeine Methode der Lösung und ein Beispiel eines Alghoritmus für die Auswahl des Ausführers wurden vorgestellt.

---

* Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego nr 3 0715 91 01 finansowanego przez Komintet Badań Naukowych.

1. Wstęp

Problematyka niniejszej pracy koncentruje się wokół tematyki związanej ze sterowaniem w dyskretnych procesach produkcyjnych traktowanych jako kompleksy operacji produkcyjnych. Dla tego rodzaju procesów można rozważać dwie grupy zadań sterowania: zadania sterowania operacyjnego, często określane jako planowanie procesu produkcji, oraz zadania sterowania wykonywaniem pojedynczych operacji tworzących kompleks. W większości przypadków szczegółowe zadania z grupy pierwszej są powiązane z zadaniami sterowania wykonywaniem operacji. W pracy jest rozważany problem wyboru realizatora [6], polegający na określeniu ciągu operacji do wykonania przez realizatory równoległe, w powiązaniu z pewnym zadaniem sterowania: wykonywaniem operacji produkcyjnych przez ruchome realizatory, które w celu wykonywania operacji podjeżdżają do obiektów lokowanych na rozmieszczonych przestrzennie stanowiskach produkcyjnych. Stanowiska są miejscem, w którym spotykają się obiekty i realizatory. Są wyposażone w niezbędne, niejednokrotnie specyficzne urządzenia pomocnicze, np. zamocowania, pola odkładcze (magazyny), urządzenia do transportu lokalnego. Z powodu różnego przestrzennego usytuowania stanowisk wykonanie operacji musi być poprzedzone dojazdem realizatora do stanowiska. Tak więc wymienione wyżej sterowanie wykonywaniem operacji w tym szczególnym przypadku składa się z dwóch elementów: ze sterowania jazdą realizatora do stanowiska oraz ze sterowania realizacją operacji na obiekcie. W dalszym ciągu będzie rozważane tylko sterowanie jazdą. Okazuje się, że problemy wyboru realizatora oraz sterowania jazdą realizatorów są ze sobą istotnie powiązane. Łącznie oba zadania tworzą dwupoziomowy system sterowania kompleksem operacji produkcyjnych [2,3]. Reprezentacja graficzna jest przedstawiona na rys. 1.



Rys.1. Dwupoziomowy system sterowania z wyborem realizatora na poziomie górnym i sterowaniem jazdą realizatorów na poziomie dolnym.

Fig.1. The two-level control system with the machine loading problem at the upper level and with the control of mobile executors' motion at the lower level

W dalszym ciągu przyjmujemy założenie, że w jednej chwili tylko jeden realizator może wykonywać operację na tym samym obiekcie. Ponadto, realizator ten wykonuje wszystkie operacje przewidziane dla obiektu. Operacje takie tworzą jedną operację zagregowaną, nazywaną dalej operacją, która jest utożsamiana wprost z obiektem. Ponieważ kolejność dostarczania obiektów do tego samego stanowiska jest dowolna, dlatego operacje są niezależne. Przedmiotem rozważań jest system produkcyjny składający się ze stanowisk produkcyjnych $h \in H = \{1,2,..,H\}$ i wspólnej bazy dla ruchomych realizatorów $h = H + 1$, które tworzą zbiór stanowisk $\overline{H} = H \cup \{H+1\}$ będących nieruchomymi elementami systemu, ruchomych realizatorów równoległych (realizatorów) $r \in R = \{1,2,...,R\}$, niepodzielnych operacji $k_h \in K_h = \{1,2,...,K_h\}, h \in H$.

Dla scharakteryzowanego systemu produkcji jest rozważane dwupoziomowe zadanie sterowania polegające na określeniu kolejności wykonywania operacji przez realizatory oraz na sterowaniu jazda realizatorów. Problem sterowania jazdą realizatorów został przedstawiony w [2] i w pracy nie będzie omawiany.

2. Model matematyczny i sformułowanie dwupoziomowego zadania sterowania

Każda operacja jest scharakteryzowana przez wektor czasów wykonania $\tau_{k_h} = \left[\tau_{1,k_h}, \tau_{2,k_h}, ..., \tau_{R,k_h}\right]^T$, gdzie τ_{r,k_h} jest czasem, w którym realizator r wykonuje operację k_h. Składa się ona z dwóch części: dojazdu realizatora do stanowiska produkcyjnego ze stanowiska, w którym znajdował się poprzednio i wykonania zadania produkcyjnego (zadania) na obiekcie umieszczonym na stanowisku. Czas wykonania operacji k_h na stanowisku h przez realizator r jest więc sumą czasu przejazdu pomiędzy stanowiskami g i h - $\tau^d_{r,g,h}$ oraz czasu wykonania zadania na tym stanowisku τ^e_{r,k_h}

$$\tau_{r,k_h} = \tau^d_{r,g,h} + \tau^e_{r,k_h}. \tag{1}$$

Pomiędzy wykonywaniem dwóch kolejnych operacji na tym samym stanowisku jest potrzebny czas na wymianę obiektów - ogólnie na przezbrojenie stanowiska. W rozpatrywanym problemie istotny jest fakt, że czasy dojazdów $\tau^d_{r,g,h}$ są rezultatami sterowania jazdą realizatorów i w przeciwieństwie do czasów realizacji zadań τ^e_{r,k_h} nie są dane a priori.

Z punktu widzenia sterowania jazdą (poziom dolny), obiektem sterowania jest grupa R realizatorów poruszających się we wspólnym obszarze roboczym, [2]. Przyjmujemy, że realizator jest wyposażony w trójkołowy układ jezdny z jednym przednim kołem napędzającym. Dwa tylne koła nie są napędzane. Przednie koło ma dwa stopnie swobody: obrót wokół osi prostopadłej do płaszczyzny koła powoduje poruszanie się realizatora, natomiast skręt w płaszczyźnie pionowej umożliwia zmianę kierunku jazdy. Do celów sterowania zastosowano uproszczony model dynamiczny, nie uwzględniający m.in. sił tarcia, przedstawiony w przestrzeni stanów. Dla tak opisanego obiektu rozważono problem sterowania pozycyjnego polegający na przejeździe każdego realizatora wzdłuż marszruty wyznaczonej na poziomie górnym. Marszruta jest określona przez ciąg stanowisk, na których dany realizator wykonuje operacje produkcyjne. Z punktu widzenia sterowania przejazd realizatora wzdłuż marszruty polega na wykonaniu cząstkowych zadań sterowania polegających na jego przeprowadzaniu z zadanego stanu początkowego do zadanego stanu końcowego, tak aby unikać kolizji ze statycznymi oraz ruchomymi przeszkodami znajdującymi się w przestrzeni roboczej. Pośrednim wynikiem takiego cząstkowego zadania sterowania jest czas przejazdu $\tau^{d}_{r,g,h}$. Wspomniane marszruty - oznaczane symbolem M_r, $r \in R$ - są z kolei wynikiem rozwiązania zadania wyboru realizatora.

Rezultaty sterowania jazdą w postaci czasów przejazdu pomiędzy stanowiskami pozwalają na wyznaczenie czasów wykonania operacji τ_{r,k_h}, a te z kolei są podstawą do określenia marszrut M_r. Mówiąc inaczej, algorytmy sterowania poziomu dolnego mają wpływ na dane dla zadania sterowania na poziomie górnym. Zależność pomiędzy zadaniami sterowania na obu poziomach istnieje również w przeciwnym kierunku. Algorytm ustalania marszrut decyduje o chwili rozpoczęcia wykonywania operacji przez realizatory. Momenty te z kolei mają wpływ na powstawanie sytuacji kolizyjnych pomiędzy poruszającymi się realizatorami, a w efekcie na czasy wykonywania operacji. Tak więc zadania sterowania na obu poziomach są ze sobą istotnie powiązane i bez straty optymalności nie mogą być rozwiązywane oddzielnie. Oprócz wprowadzonych już wcześniej założeń, dodatkowo przyjmuje się, że każdy realizator rozpoczynając wykonywanie operacji wyrusza ze wspólnej bazy i wraca do niej dopiero po zakończeniu wykonywania operacji.

Wskaźnikiem jakości wyznaczania marszrut jest maksymalny czas ich realizacji

$$Q = \max_{r \in \mathbf{R}} \left\{ \sum_{h=1}^{H+1} \sum_{k_h=1}^{K_h} \left[c_{r,k_h} \cdot \left(\tau^{e}_{r,k_h} + \sum_{g=1}^{H+1} \gamma_{r,g,k_h} \cdot \tau^{d}_{r,g,h} \right) \right] \right\}, \tag{2}$$

gdzie:

$c_{r,k_h} = 1(0)$, - jeśli operacja k_h jest wykonywana przez realizator r (w przeciwnym przypadku),

$\gamma_{r,g,k_h} = 1(0)$ jeśli realizator r wykonuje operację k_h po dojeździe ze stanowiska g (w przeciwnym przypadku).

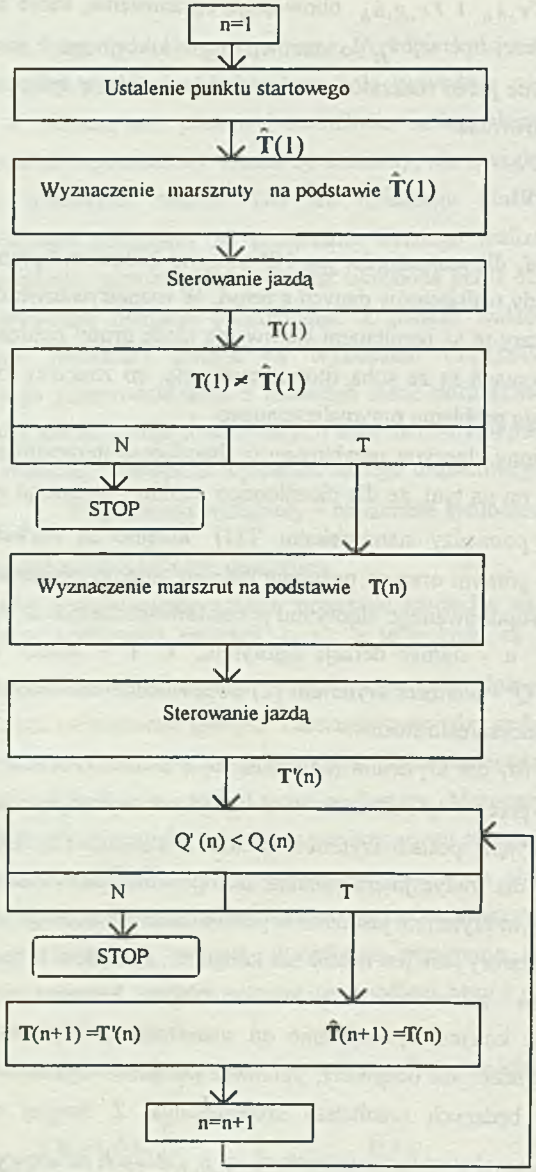
Na zmienne decyzyjne c_{r,k_h} i γ_{r,g,k_h} obowiązują ograniczenia, które zapewniają, że w celu wykonania pojedynczej operacji k_h do stanowiska produkcyjnego h musi dojechać oraz musi go opuścić dokładnie jeden realizator, a także każdy realizator tylko raz może opuścić bazę oraz musi do niej powrócić.

3. Wyznaczanie marszrut

Wyznaczanie marszrut M_r dla realizatorów jest NP-trudnym zadaniem optymalizacyjnym już w przypadku czasów jazdy realizatorów danych a priori. W rozpatrywanym dwupoziomowym problemie sterowania czasy te są rezultatami sterowania jazdą grupy realizatorów, a zadania sterowania na obu poziomach są ze sobą istotnie związane, co znacznie zwiększa trudność i tak już skomplikowanego problemu optymalizacyjnego.

W pracy jest przedstawiony algorytm przybliżony o charakterze iteracyjnym z empirycznym kryterium stopu. Polega on na tym, że dla określonego punktu startowego w postaci czasów przejazdu realizatorów pomiędzy stanowiskami $\hat{\mathbf{T}}(1)$ kolejno są rozwiązywane zadania sterowania na poziomie górnym oraz na poziomie dolnym, dopóki maleje wartość kryterium (2). Schemat blokowy proponowanego algorytmu przedstawiono na rys. 2. Wykorzystano tam następujące oznaczenia: n - numer iteracji algorytmu, **T, T'** - zbiory czasów realizacji wszystkich operacji, Q, Q' - wartości kryterium (2) odpowiednio dla zbioru **T** oraz **T'**, **M** - zbiór marszrut dla wszystkich realizatorów.

Wyznaczanie marszruty M_r dla kryterium (2) składa się z dwóch procedur: ustalania zbioru operacji do wykonania przez r-ty realizator oraz kolejności wykonywania operacji z tego zbioru. Wynika to z przyjętej postaci kryterium jakości sterowania (2), które nawiązuje do długości uszeregowania dla tradycyjnego zadania szeregowania. Jak wiadomo, rozwiązanie zadania szeregowania z tym kryterium jest dane w postaci zbiorów operacji przewidzianych do wykonywania przez realizatory i nie jest istotna ich kolejność. Kolejność ta jest jednak ważna z punktu widzenia zadania sterowania na poziomie dolnym. Ponadto obie procedury, tj. szeregowanie i ustalanie kolejności, wzajemnie od siebie zależą. Wpływ szeregowania na procedurę ustalania kolejności jest oczywisty, ponieważ kolejność wykonywania operacji jest określana dla zbiorów będących rezultatem szeregowania. Z drugiej strony procedura szeregowania korzysta z czasów wykonania operacji τ_{r,k_h}, których składowymi są czasy jazdy $\tau^d_{r,g,h}$, a te zależą od ustalonej kolejności pokonywania odległości pomiędzy stanowiskami. Problem wyznaczania marszrut jest traktowany jako uogólnienie problemu szeregowania operacji niezależnych na realizatorach dowolnych z kryterium w postaci długości uszeregowania i ze względu na swoją oczywistą złożoność obliczeniową jest dekomponowany i rozwiązany w dwóch etapach:



Rys.2. Schemat blokowy algorytmu iteracyjnego
Fig.2. The block diagram of the iterative algorithm

a. szeregowanie dla ustalonych czasów wykonywania operacji,

b. ustalanie kolejności wykonywania operacji w zbiorach określonych w p.a.

Problem szeregowania jest NP-zupełnym problemem decyzyjnym i dlatego w prezentowanym algorytmie jest rekomendowany jeden ze znanych algorytmów aproksymacyjnych [np. 1]. Z punktu widzenia rozpatrywanego zadania sterowania w systemie dwupoziomowym istotny jest sposób ustalania czasów wykonywania operacji, ponieważ w takim zadaniu nie są one dane a priori, ale zmieniają się w kolejnych iteracjach. W dalszym ciągu jako czas wykonywania operacji przyjmujemy sumę czasu wykonywania zadania produkcyjnego oraz najdłuższego czasu dojazdu do stanowiska, na którym wykonywane jest to zadanie

$$\tau_{r,k_h} = \tau^e_{r,k_h} + \max_{g \in \overline{\mathbf{H}}} \left\{ \tau_{r,g,h} \right\}, \; r \in \mathbf{R}, \; k_h \in \mathbf{K}_h, \; h \in \overline{\mathbf{H}}. \tag{3}$$

Dla n > 1 czasy $\tau^d_{r,g,h}$ są wyznaczane na poziomie dolnym, natomiast dla n=1, czyli dla punktu startowego całej procedury iteracyjnej są to czasy bezkolizyjnego przejazdu pomiędzy stanowiskami.

Oznaczmy przez K^r zbiór operacji uzyskany w wyniku szeregowania, uzupełniony o operację zjazdu r-tego realizatora do bazy. Zbiory K^r, a równoważnie wartości współczynników c_{r,k_h} występujących w kryterium (2), są wynikami szeregowania $K = \sum_{h=1}^{H} K_h$ operacji na R realizatorach.

Kryterium (2) zależy wtedy od R kryteriów cząstkowych Q^r zależnych od współczynników binarnych γ_{r,g,k_h}

$$Q = \max_{r \in \mathbf{R}} \left\{ Q^r \right\}, \tag{4}$$

gdzie

$$Q^r = \sum_{k_h \in \mathbf{K}^r} \left[\tau^e_{r,k_h} + \sum_{g=1}^{K^r} \gamma_{r,g,h} \cdot \tau^d_{r,g,h} \right], \; r \in \mathbf{R}. \tag{5}$$

Operacje ze zbioru K^r mogą być w szczególności wykonywane na tym samym stanowisku. Zadanie wyznaczania kolejności wykonywania operacji w zbiorach K^r zostało sprowadzone do zadania jednego komiwojażera ze wspólną bazą [4]. W wyniku rozwiązania tego zadania otrzymujemy dla każdego realizatora marszrutę M_r o początku i końcu w bazie, czyli rozwiązanie zadania sterowania na poziomie górnym.

Proponowana metoda rozwiązania problemu jest przybliżona. Można podać następujące oszacowanie kryterium jakości sterowania (2). Jako kryterium dla zadania sterowania w systemie dwupoziomowym został przyjęty wskaźnik jakości sterowania dla poziomu górnego. Z drugiej strony rozpatrywane zadanie można interpretować jako zadanie sterowania operacyjnego dla czasów jazdy ustalanych na poziomie dolnym. Poniższe oszacowanie będzie więc dotyczyć poziomu górnego oraz będzie w nim uwzględniona strata związana z unikaniem kolizji przez realizatory. Jest ono następujące

$$Q_{\mathrm{alg}} \le A \cdot \left(Q^* + \Delta Q_d + \Delta Q_{kol} \right), \tag{6}$$

gdzie:

Q_{alg} - wartość kryterium Q uzyskana w wyniku zastosowania konkretnego algorytmu sterowania w systemie dwupoziomowym realizującego przedstawioną metodę postępowania,

Q^* - wartość optymalna Q,

ΔQ_d - zwiększenie wartości kryterium spowodowane dekompozycją algorytmu wyznaczania marszrut,

ΔQ_{kol} - zwiększenie wartości kryterium spowodowane koniecznością ewentualnego unikania kolizji w trakcie jazdy realizatorów

A - współczynnik charakteryzujący wybrany algorytm szeregowania, wyrażający jego dokładność w stosunku do algorytmu optymalnego ($A \ge 1$).

Można wykazać, że wyrażenie (6) przyjmuje szczegółową postać [4]

$$Q_{\mathrm{alg}} \le A \cdot \left[Q^* + \max_{r \in \mathbf{R}} \left\{ \sum_{k_h=1}^{K^r} \max_{g \in \overline{\mathbf{H}}} \left\{ \tilde{\tau}^{d}_{r,g,h} \right\} - \min_{\{\mathbf{M}_r\}} \sum_{k_h=1}^{K^r} \tilde{\tau}^{d}_{r,g,h} \right\} + \max_{r \in \mathbf{R}} \left\{ \sum_{k_h=1}^{K^r} \sum_{\substack{s=1 \\ s \ne r}}^{R} \tau^{s,g',h'}_{r,g,h} \right\} \right], \tag{7}$$

gdzie:

$\tau^{s,g',h'}_{r,g,h}$ –zwiększenie czasu jazdy realizatora r poruszającego się od stanowiska g do h spowodowane uniknięciem kolizji z realizatorem s jadącym od stanowiska g' do h',

$\tilde{\tau}^{d}_{r,g,h}$ - czas bezkolizyjnego przejazdu realizatora r od stanowiska g do h,

$\{M_r\}$ - zbiór marszrut dopuszczalnych dla realizatora r.

4. Przykładowy algorytm rozwiązania w systemie dwupoziomowym

Szeregowanie i określanie kolejności wykonywania operacji są realizowane w sposób przybliżony. Dla szeregowania przyjęto algorytm najwcześniejszego czasu wykonania (ECT) [1], a dla określania kolejności - algorytm włączania [5]. Oba te algorytmy umożliwiają wyznaczanie marszrut metodą przedstawioną na rys.2.

Szeregowanie:

1. Ustal czasy wykonania operacji τ_{r,k_h} zgodnie z (3).
2. Ustal $Q^r = 0$ i $K^r = \varnothing$, $r \in R$.
3. Powtarzaj dla wszystkich operacji k_h: znajdź najmniejsze $r \in R$, dla którego

$Q^r + \tau_{r,k_h} \le Q^s + \tau_{s,k_h}$, $s \in R$ i podstaw $K^r = K^r \cup \{k_h\}$, $Q^r = Q^r + \tau_{r,k_h}$.

Ustal kolejność w zbiorach K^r:

Powtarzaj dla $r = 1$ do R.

1. Ustal marszrutę $M_r = (baza)$.
2. Znajdź $k_h \in K^r$ oraz najmniejsze h, takie że $\tau^d_{r,h,baza}$ jest minimalne i utwórz $M_r = (baza, h, baza)$.
3. Znajdź takie dwa kolejne elementy z ciągu M_r oraz stanowisko g' o najmniejszym numerze należące do zbioru stanowisk, a nie należące do M_r, dla których $\tau^d_{r,g,g'} + \tau^d_{r,g',h} - \tau^d_{r,g,h}$ jest minimalne i wstaw g' do M_r pomiędzy elementy g i h.
4. Powtarzaj 3. aż do powstania cyklu Hamiltona.

5. Wszystkim stanowiskom przyporządkuj czasy τ^e_{r,k_h}.

Złożoność obliczeniowa algorytmu wynosi $O(RK \log_2 K)$.

Ilustracyjny przykład obliczeniowy

W celu realizacji algorytmu przedstawionego w p.4. napisano program komputerowy w języku C. Poniżej zostanie przedstawiony prosty przykład, dla którego wynik został wyznaczony z wykorzystaniem tego programu.

Przyjęto następujące dane: $\overline{H} = 4$, $R = 3$, $K_1 = 1$, $K_2 = 2$, $K_3 = 3$. Czasy τ^e_{r,k_h} i $\tau^d_{r,g,h}$ przedstawiono w tabeli.

Uzyskano następujące marszruty dla realizatorów:

$M_1 = (baza - k_1 - baza)$, $M_2 = (baza - k_3 = 1 - k_2 = 2 - k_3 = 3 - baza)$,

M_3 = (*baza* - k_2 = 1 - k_3 = 2 - *baza*).

r	1	1	1	1	1	1	2	2		2	2	2	3	3	3	3	3	3
h	1	2	2	3	3	3	1	2		3	3	3	1	2	2	3	3	3
k	1	1	2	1	2	3	1	1	2	1	2	3	1	1	2	1	2	3
t	50	10	15	9	2	2	45	12	8	6	3	2	40	5	6	8	4	40
g	1	1	1	2	2	3	1	1	2	2	2	3	1	1	1	2	2	3
h	2	3	4	3	4	4	2	3	2	3	4	4	2	3	4	3	3	4
τ	7	28	5	18	10	30	8	24	6	19	11	31	9	30	7	20	12	32

5. Uwagi końcowe

W pracy przedstawiono wybrany problem sterowania kompleksem operacji produkcyjnych z lokalnie sterowanymi operacjami. Sformułowano go jako złożone dwupoziomowe zadanie sterowania składające się z wzajemnie zależnych zadań wyznaczania marszrut dla realizatorów oraz sterowania jazdą grupy realizatorów w warunkach potencjalnej możliwości kolizji. Fakt poruszania się realizatorów we wspólnej przestrzeni roboczej powoduje "powiązanie obu poziomów" w dwupoziomowym problemie sterowania. Zastosowano iteracyjną metodę wyznaczania rozwiązań. Ze względu na heurystyczny charakter proponowanej metody rozwiązania dalsze prace powinny być ukierunkowane na przeprowadzenie szczegółowych badań symulacyjnych proponowanych algorytmów. Omawiane zadanie, po nieznacznych modyfikacjach interpretacyjnych, dobrze odpowiada również wybranym zadaniom sterowania transportem w dyskretnych, zautomatyzowanych procesach produkcyjnych.

LITERATURA

[1] Ibarra O.H., Kim Ch.E.: Heuristic algorithms for scheduling independent tasks on nonidentical processors. Journal of the ACM, vol. 24, No. 2, 1977, pp. 280-289.

[2] Józefczyk J.: On the two-level control of the flexible manufacturing system with mobile robots. Proc. of 8th Int. Conf. on Systems Engineering, Coventry, 1991, pp. 464-471.

[3] Józefczyk J.: A two-level approach to the motion control and the machine loading problem in the flexible manufacturing systems. Addendum of the 9th Int. Conf. on Systems Engineering, Las Vegas, 1993, pp. 8-12.

[4] Józefczyk J.: Metoda i algorytm sterowania kompleksem operacji produkcyjnych z lokalnie sterowanymi operacjami jazdy. Instytut Sterowania i Techniki Systemów Politechniki Wrocławskiej, Raport serii PRE nr 3/93, Wrocław, 1993.

[5] Rozenkranz D., Sterns R., Lewis P.: An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. SIAM J. Comp., vol. 6, 1977, pp. 563-581.

[6] Solot P.: A concept for planning and scheduling in FMS. European Journal of Operational Research, vol. 45, 1990, pp. 85-95.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Klamka

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994.r.

Abstract

The presented paper deals with the selected problem concerning the control of the discrete manufacturing system which is treated as a complex control system. Among the variety of topics in this area the following two problems are taken into account. The first one concerns the control of mobile executors (industrial mobile robots) performing technological tasks which include two essential control subproblems, i.e., the control of the execution of the technological tasks by the manipulator of the industrial robot and the control of the mobile robot's motion. The letter control subproblem is taken into account. It concerns an operational aspect of the control system. In particular, the machine loading problem which depends on mapping the set of executors on the set of technological tasks (operations) transformed into the routing problem is considered. The connection of introduced above two control problems leads to the two-level control system with the routing problem at the upper level and with control of the mobile executor motion at the lower level. The lower level control problem can also be interpreted as a control of the transport system in the manufacturing system with transport tasks executed by AGVs. The control problem at the upper level consists in the determination a routing algorithm which minimises the completion time for given sets of operations characterised by initial and final positions. The execution times are not given a'priori but results from control procedures at the lower level. An iterative method for the determination of executors routs and the selected control algorithm are presented. The accuracy of proposed algorithm is estimated and an example of numerical calculations is given.