ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1988
Seria: AUTOMATYKA z.94 Nr kol.970

Grzegorz Pusz, Andrzej Szyrkowiec
Politechnika Wrocławska

PEWNE PROBLEMY ADAPTACYJNEGO STEROWANIA KOMPLEKSEM OPERACJI

Streszczenie. Praca dotyczy adaptacyjnego sterowania przez identyfikację kompleksem operacji. Zaproponowano algorytmy sterowania adaptacyjnego z użyciem identyfikacji lokalnej i globalnej. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań symulacyjnych dokonano porównania przebiegu sterowania za pomocą obydwu typów algorytmów dla typowych struktur kompleksu operacji.

1. Wstęp.

Jednym z problemów sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi jest sterowanie kompleksami operacji. Szereg istotnych problemów z tego zakresu zostało już opracowanych [np. 2,3,5]. W sytuacjach, gdy nie są znane modele operacji kompleksu, istnieje możliwość zastosowania sterowania adaptacyjnego. Potrzeba sterowania adaptacyjnego występuje także, jeśli parametry modeli operacji kompleksu zmieniają się w czasie. Adaptacja jest tu rozumiana jako proces zmian algorytmu sterowania lub jego parametrów na podstawie bieżącej informacji, co pozwala na sterowanie przy początkowej nieokreśloności lub zmieniających się warunkach pracy. W trakcie sterowania adaptacyjnego przez identyfikację kompleksem operacji modele poszczególnych operacji są poprawiane w wyniku otrzymywania kolejnych danych pomiarowych. Uzyskane w każdym kroku adaptacji modele są używane do poprawienia na bieżąco parametrów algorytmu sterowania. W zależności od podejścia do problemu identyfikacji kompleksu operacji [1,3 4] możemy mówić o adaptacji opartej na identyfikacji lokalnej bądź globalnej. W pracy dokonano porównania obu tych podejść dla problemu sterowania rozdziałem zasobów w kompleksie operacji.

2. Zadanie optymalnego rozdziału zasobów

Przedmiotem rozważań jest system o strukturze sieciowej, nazywany kompleksem operacji [1]. Na model matematyczny kompleksu operacji składają się modele poszczególnych operacji oraz opis struktury kompleksu. W dal-

Praca była częściowo finansowana w ramach CPBP 02.15 "Rozwój badań systemowych i ich priorytetowych zastosowań".

szym ciągu ograniczymy się do przypadku operacji statycznych opisywanych przez u_i, T_i z modelem $\bar{T}_i = \Phi_i(u_i, a_i)$, $i \in \overline{1,m}$ (1)

gdzie m - liczba operacji w kompleksie, $T_i, \bar{T}_i \geq 0$ - odpowiednio czas rzeczywisty realizacji i-tej operacji oraz czas wyznaczony z modelu, a_i - parametr modelu i-tej operacji, $u_i \geq 0$ - zasób przydzielony i-tej operacji (wielkość wejściowa i-tej operacji), $\Phi_i: R^+ \times R \to R^+$ - funkcja spełniająca następujące założenia :

(A1) - funkcja klasy C^1 w obszarze określoności,

(A2) - funkcja ściśle malejąca względem u_i przy dowolnym a_i,

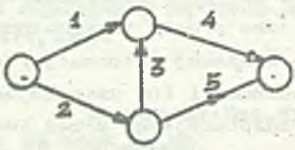
(A3) - funkcja wypukła względem u_i przy dowolnym a_i,

(A4) - $\lim_{\alpha \to 0} \Phi_i(\alpha, a_i) = \infty$.

Struktura kompleksu operacji opisywana jest za pomocą grafu

$$G \in \langle 1,2,\ldots,m \rangle \times \langle 1,2,\ldots,m \rangle . \quad (2)$$

Jeżeli $(k,j) \in G$, to j-ta operacja wykonywana jest bezpośrednio po k-tej operacji. Przykładowa struktura kompleksu operacji została przedstawiona na rysunku 1. Krawędzie grafu oznaczają tu poszczególne operacje, natomiast wierzchołki zdarzenia (chwile rozpoczęcia i zakończenia operacji). Czas wykonania całego kompleksu $T = H(T_1, T_2, \ldots, T_m)$ jest funkcją czasów wykonania poszczególnych operacji i jej postać zależy od struktury kompleksu.



Rys.1. Przykład struktury kompleksu operacji.

Fig.1. Example of a structure of a complex of operations.

Biorąc pod uwagę (1), czas realizacji kompleksu wyznaczony z modelu $\bar{T}$ można wyrazić w sposób następujący:

$$\bar{T} = H(\bar{T}_1, \bar{T}_2, \ldots, \bar{T}_m) = \Phi(u_1, u_2, \ldots, u_m, a_1, a_2, \ldots, a_m) \quad (3)$$

Dla tak określonego kompleksu operacji można sformułować następujące zadanie [2,5]:

Należy rozdzielić między operacje kompleksu zasób U, tj. znaleźć taki wektor $u^* = [u_1^*, u_2^*, \ldots, u_m^*]$, który minimalizuje przyjęte kryterium jakości

$$T = \Phi(u_1, u_2, \ldots, u_m, a_1, a_2, \ldots, a_m) \quad (4)$$

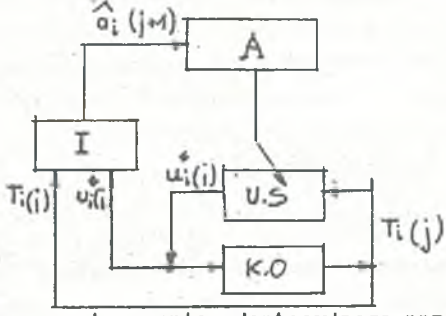
przy ograniczeniach

$$u_i^* \geq 0 \quad ; \quad \sum_{i=1}^{m} u_i^* \leq U \quad ; \quad i=1,2,\ldots,m . \quad (5)$$

gdzie U jest nieodnawialnym zasobem całkowitym przydzielonym na realizację całego kompleksu. Jego interpretacja praktyczna może np. odpowiadać całkowitej ilości energii przeznaczonej na realizację kompleksu. Jest to problem optymalnego rozdziału zasobów w kompleksie operacji.

3. Sterowanie adaptacyjne przez identyfikację.

Proces sterowania adaptacyjnego przez identyfikację przedstawiono schematycznie na rys. 2, gdzie przyjęto następujące oznaczenia:
K.O.-kompleks operacji (obiekt sterowania), U.S.- urządzenie sterujące, I- identyfikator, A- adaptator.



Rys.2. Schemat procesu sterowania adaptacyjnego przez identyfikację.
Fig.2. Model reference adaptive control.

Zadanie sterowania adaptacyjnego przez identyfikację można sformułować następująco [6]:
Dla kompleksu operacji o zadanej strukturze G i modelach operacji $T_i = \Phi_i(u_i, a_i)$ znanych z dokładnością do parametrów $\hat{a}_i$ $(i=\overline{1,m})$ wyznaczonych poprzez identyfikację znaleźć: algorytm sterowania

$$u^*(j) = \Psi^A(\hat{a}) \tag{6}$$

taki, że w każdym takcie adaptacji j wektor rozdziału zasobu $u^*(j)$ minimalizuje kryterium

$$T = \Phi(u_1, u_2, \ldots, u_m, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \ldots, \hat{a}_m) \tag{7}$$

przy ograniczeniach

$$u_i(j) > 0 \quad ; \quad \sum_{i=1}^{m} u_i(j) \le U \quad , \quad i=1,2,\ldots,m \; ; \tag{8}$$

oraz algorytm identyfikacji

$$\hat{a}(j) = \Psi_j^I(\tau_{1j}, \tau_{2j}, \ldots, \tau_{mj}, u_{1j}, u_{2j}, \ldots, u_{mj}) \tag{9}$$

gdzie $\tau_{ij} = \{ T_i(1), T_i(2), \ldots, T_i(j) \}$ i $u_{ij} = \{ u_i(1), u_i(2), \ldots, u_i(j) \}$ są wynikami obserwacji do j-tego taktu adaptacji, taki, że w każdym

takcie adaptacji wektor parametrów $\hat{a}(j)$ minimalizuje kryterium jakości identyfikacji Q_j. Konkretna postać kryterium Q_j jest zależna od przyjętego sposobu podejścia do identyfikacji kompleksu operacji. Podczas kolejnych realizacji kompleksu mogą być mierzone i wykorzystywane do identyfikacji wartości $u_i(j)$ i $T_i(j)$, tzn. odpowiednie wartości przydzielonego zasobu i-tej operacji i czasu wykonania i-tej operacji w j-tej realizacji kompleksu. Jeżeli przyjmiemy, że dla dowolnego i para uporządkowana $(u_i(j), T_i(j))$ jest parą wartości zaobserwowanych zmiennych losowych $(\underline{u}_i(j), \underline{T}_i(j))$, przy czym zmienne te są niezależne dla różnych j i istnieje łączna gęstość prawdopodobieństwa $f(u_1, u_2, \ldots, u_m; T_1, T_2, \ldots, T_m)$ ta sama dla różnych j, to optymalny model pojedynczej operacji można określić tak, jak optymalny w sensie średnim model dowolnego elementu statycznego [1].

Definicja 1. [3,4]

Model i-tej operacji (1) nazywamy l o k a l n i e o p t y m a l n y m dla $a_i = \tilde{a}_i$ minimalizującego

$$Q_i = \mathop{\mathbb{E}}_{\underline{T}_i, \underline{u}_i} \{ \phi [T_i, \hat{T}_i(u_i, a_i)] \} \tag{10}$$

dla danej funkcji $\phi : \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \to \mathbb{R}^+$, np $\phi(T_i, \bar{T}_i) = (T_i, \bar{T}_i)^2$

Jednakże, model kompleksu złożony z lokalnie optymalnych modeli poszczególnych operacji nie musi na ogół być modelem optymalnym w sensie globalnym. Dla oceny jakości modelu całego kompleksu należy porównać czasy realizacji całego kompleksu i jego modelu.

Definicja 2. [3,4]

Model kompleksu operacji o zadanej strukturze nazywamy g l o b a l n i e o p t y m a l n y m w s e n s i e ś r e d n i m (Globally Optimal Model in Average sense -GOMA) dla $a_1 = a_1^*$, $a_2 = a_2^*$, ..., $a_m = a_m^*$ minimalizujących

$$Q = \mathop{\mathbb{E}}_{\underline{T}_1, \ldots \underline{T}_m; \underline{u}_1, \ldots, \underline{u}_m} \{ \phi [T, \hat{T}(u_1, u_2, \ldots u_m; a_1, a_2, \ldots, a_m)] \} \tag{11}$$

Jest to najlepszy model w sensie średnim względem wielkości wejściowych. Ponieważ wykorzystywać będziemy dane pomiarowe, stąd algorytm identyfikacji (9) zarówno dla identyfikacji lokalnej oraz globalnej, może być wyznaczony poprzez minimalizację empirycznych postaci kryteriów jakości odpowiadających kryteriom (10) lub (11) w zależności od przyjętego podejścia. W rezultacie, minimalizację (10) w przypadku identyfikacji lokalnej zastępujemy minimalizacją kryterium empirycznego

$$Q_{in} = \sum_{j=1}^{n} \phi [T_i(j), \hat{T}_i(u_i(j), a_i)] , \tag{12}$$

gdzie n- aktualny takt adaptacji.

Analogicznie dla identyfikacji globalnej minimalizację (11) zastepujemy minimalizacją kryterium empirycznego

$$Q_n = \sum_{j=1}^{n} \phi\,[T(j), \Phi(u_1(j),\ldots,u_m(j); a_1,\ldots,a_m)] \qquad (13)$$

4. Algorytmy sterowania adaptacyjnego poprzez identyfikację dla wybranych struktur kompleksu operacji.

Dla rozwiązania sformułowanego wcześniej zadania należy wyznaczyć algorytmy optymalnego rozdziału oraz identyfikacji lokalnej lub globalnej, w zależności od przyjętego podejścia.

Dla dokonania identyfikacji lokalnej każdej z operacji kompleksu wykorzystywane są dwa ciagi pomiarów τ_{ij}, u_{ij}. Algorytm identyfikacji lokalnej $\tilde{a}_{in} = \psi_{in}(u_{in}, \tau_{in})$ jest oparty na metodzie najmniejszych kwadratów i polega na wyznaczeniu wartości parametrów $\tilde{a}_i$, dla których kryterium

$$Q_{in} = \sum_{j=1}^{n} (T_i(j) - \Phi_i(u_i(j), a_i))^2$$

przyjmuje minimalną wartość. W przypadku typowego modelu operacji o postaci $T_i = a_i u_i^{s_i}$, gdzie $a_i > 0$ i $s_i < 0$ (znany parametr operacji), algorytm identyfikacji lokalnej wyznaczony w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów wyraża się wzorem

$$\tilde{a}_i(n) = \frac{\sum_{j=1}^{n} T_i(j)\, u_i^{s_i}(j)}{\sum_{j=1}^{n} u_i^{2s_i}(j)} \qquad (14)$$

W przypadku identyfikacji globalnej kompleksu operacji skonkretyzowana postać kryterium (11) zależy od struktury kompleksu operacji. Jednak niezależnie od skonkretyzowanej postaci kryterium, dla wyznaczenia $a_n^* = [a_{1n}^*, a_{2n}^*, \ldots, a_{mn}^*]$ można utworzyć algorytm

$$a_{in}^* = \psi_{in}(u_{1n}, u_{2n}, \ldots, u_{mn}, \tau_{1n}, \tau_{2n}, \ldots, \tau_{mn}) \qquad (i = 1,2,\ldots m) \qquad (15)$$

oparty na odpowiednich procedurach numerycznych o postaci

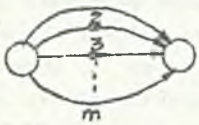
$$a_{r+1} = F[a_r, Q(a_r)] \qquad (r = 1,2,\ldots) \qquad (16)$$

gdzie a_r oznacza r-e przybliżenie a_n^*. W przeprowadzonych badaniach symulacyjnych zastosowano metodę Naldera i Meada.

Algorytmy optymalnego rozdziału zasobów dla poszczególnych przypadków

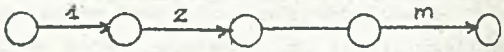
struktur kompleksu są następujące:

Kompleks o strukturze równoległej.



Rys. 3. Kompleks o strukturze równoległej.

Fig. 3. A parallel structure of the complex.



Rys. 4. Kompleks operacji o strukturze szeregowej

Fig. 4. A cascade structure of the complex of operations.

W tym przypadku czas realizacji całego kompleksu wyraża się wzorem

$$\bar{T} = \max_i \bar{T}_i \tag{17}$$

Jeżeli funkcje $f_i(u_i, a_i)$ $(i=1,2,\ldots,m,\ u_i>0)$ spełniają założenia A1, A2, A4, to rozdział $u^*=(u_1^*, u_2^*, \ldots, u_m^*)$, dla którego $\bar{T}_1=\bar{T}_2=\ldots=\bar{T}_m=\bar{T}$, jest rozdziałem optymalnym, tzn. minimalizującym kryterium (17) [5]. W konsekwencji algorytm rozdziału optymalnego może być oparty na metodach rozwiązywania układu równań algebraicznych:

$$f_1(u_1, a_1) = f_2(u_2, a_2) = \ldots = f_m(u_m, a_m) \quad , \quad \sum_{i=1}^{m} u_i = U \tag{18}$$

W przypadku typowego modelu operacji o postaci $a_i u_i^{\varepsilon_i}$ składowe optymalnego rozdziału wyrażają się wzorem

$$u_i^* = \left[\frac{a_1}{a_i} u_1^{*\,\varepsilon_1} \right]^{\frac{1}{\varepsilon_i}} \qquad (i=2,3,\ldots,m) \tag{19}$$

natomiast u_1^* jest rozwiązaniem równania nieliniowego

$$u_1^* + \sum_{i=2}^{m} \left[\frac{a_1}{a_i} u_1^{*\,\varepsilon_1} \right]^{\frac{1}{\varepsilon_i}} - U = 0 \tag{20}$$

Inaczej mówiąc, dla wyznaczenia w n-tym takcie adaptacji wektora $u^*(n)$ można stosować algorytm optymalnego rozdziału

$$u^*(n) = \Phi^A(a(n-1)) \tag{21}$$

oparty na wzorach (19) i procedurze numerycznej rozwiązywania równania nieliniowego (20) o postaci

$$u_1(p) = N[a(n-1), u_1(p-1)] \tag{22}$$

gdzie $u_1(p)$ jest p-tym przybliżeniem $u_1^*(n)$ pierwiastka równania (20) i

$a(n-1)$ jest wektorem parametrów dla n-1 taktu wyznaczony poprzez identyfikację lokalną lub globalną.

Kompleks o strukturze szeregowej.

Czas realizacji kompleksu o strukturze szeregowej wyraża się wzorem

$$T = \sum_{i=1}^{m} T_i \tag{23}$$

Można udowodnić [6], że jeżeli w kompleksie operacji o strukturze szeregowej, składającym się z m operacji o modelu postaci (1), (gdzie $u_i>0$ dla $i=1,2,\dots,m$), spełnione są założenia A1-A4, to rozdział zasobów u^* minimalizuje kryterium (23) przy ograniczeniach (5) wtedy i tylko wtedy, gdy spełniony jest warunek

$$\frac{dT_1}{du_1} = \frac{dT_2}{du_2} = \dots = \frac{dT_m}{du_m} < 0 \tag{24}$$

Stąd algorytm rozdziału optymalnego może być oparty na metodach rozwiązywania układu równań algebraicznych. Dla typowego modelu operacji składowe optymalnego rozdziału wyrażają się wzorem

$$u_i^* = \left(\frac{s_1 a_1}{s_i a_i} u_1^{*s_1-1} \right)^{\frac{1}{s_i-1}} \quad \text{dla } i=2,3,\dots,m \tag{25}$$

natomiast u_1^* jest rozwiązaniem równania nieliniowego

$$u_1^* + \sum_{i=2}^{m} \left(\frac{s_1 a_1}{s_i a_i} u_1^{*s_1-1} \right)^{\frac{1}{s_i-1}} - U = 0 \tag{26}$$

Kompleks operacji o strukturze równoległo-szeregowej.

Przyjmijmy następujące oznaczenia: l-numer operacji, i-numer podkompleksu, u_{il}, a_{il} - odpowiednie wielkości dla l-tej operacji w i-tym podkompleksie, m_i - liczba operacji w i-tym podkompleksie, p-liczba podkompleksów.

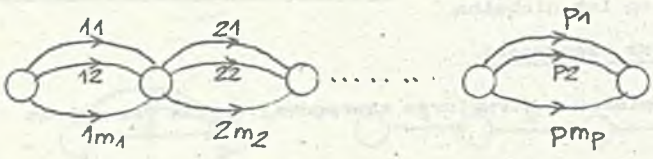
Czas wykonania i-tego podkompleksu $T_i = \max\limits_{l\in\overline{1,m_i}} T_{il}$, (27)

natomiast czas realizacji całego kompleksu wyraża się wzorem

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^{p} \max_{l\in\overline{1,m_i}} T_{il} . \tag{28}$$

Algorytm optymalnego rozdziału tworzy się w oparciu o algorytmy dla struktur równoległej i szeregowej [6]. W przypadku typowego modelu operacji potęgowych składowe optymalnego rozdziału wyrażają się wzorami (29)-(30):

$$u_{il}^* = \left(\frac{a_{i1}}{a_{il}} u_{i1}^{*s_{i1}} \right)^{\frac{1}{s_{il}}} \quad \text{dla} \quad \begin{array}{l} l=2,3,\dots,m_i ; \\ i=1,2,\dots,p ; \end{array} \tag{29}$$



Rys.5.Kompleks operacji o strukturze równoległo-szeregowej.
Fig.5.A parallel-cascade structure of the complex of operations.

$$u_{i1}^{*} = \left(\frac{s_{i1} a_{i1}}{s_{i1} a_{i1}} u_{i1}^{*\,s_{i1}-1} \right)^{\frac{1}{s_{i1}-1}} \quad i=2,3,\ldots,p \tag{30}$$

natomiast u^{*} jest rozwiązaniem równania nieliniowego

$$u_{11}^{*} + \sum_{l=1}^{m_1} \left(\frac{a_{l1}}{a_{11}} u_{11}^{*\,s_{11}} \right)^{\frac{1}{s_{11}}} + \sum_{i=2}^{p} \left[\left(\frac{s_{i1} a_{i1}}{s_{i1} a_{i1}} u_{i1}^{*\,s_{i1}-1} \right)^{\frac{1}{s_{i1}-1}} + \right.$$

$$\left. + \sum_{l=2}^{m_i} \left(\frac{a_{li}}{a_{i1}} \left(\frac{s_{i1} a_{i1}}{s_{i1} a_{i1}} u_{i1}^{\,s_{i1}-1} \right)^{\frac{s_{i1}}{s_{i1}-1}} \right)^{\frac{1}{s_{i1}}} \right] = U \tag{31}$$

Algorytm optymalnego rozdziału jest więc oparty na wzorach (29),(30) oraz na numerycznej procedurze rozwiązania równania (31).

5. Porównanie sterowania adaptacyjnego poprzez identyfikację lokalną i globalną na podstawie badań symulacyjnych.

Przeprowadzone zostały badania symulacyjne opisanych algorytmów adaptacyjnego sterowania kompleksami operacji o strukturach równoległej, szeregowej i równoległo-szeregowej. Przyjęto modele operacji o postaci potęgowej $a_i u_i^{s_i}$. W procesie symulacji rzeczywisty czas T_i wykonania i-tej operacji otrzymywany był przez dodanie czynnika losowego do czasu realizacji wynikającego z modelu. Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań symulacyjnych opisanych algorytmów dla przykładowych struktur kompleksu operacji. Dla poszczególnych zestawów danych przedstawiono wykresy przebiegów czasów T wykonania kompleksu w kolejnych taktach procesu dla adaptacji poprzez identyfikację globalną. Ponadto w każdym takcie wyznaczany jest wskaźnik γ definiowany następująco:

$$\gamma = (T_l - T_g) / T_g , \tag{32}$$

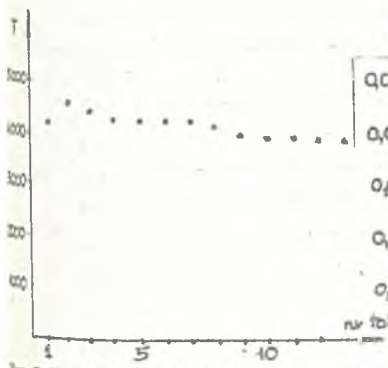
gdzie T_l - czas realizacji kompleksu przy sterowaniu adaptacyjnym w oparciu

o identyfikację lokalną, T_g-jw. dla identyfikacji globalnej.
Przedstawiono wykresy zmian wskaźnika γ w kolejnych taktach procesu.

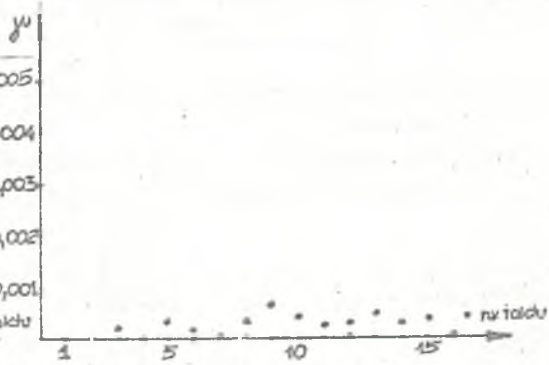
Zestaw danych nr1. Struktura równoległa.
Ilość operacji m =5. Modele operacji o współczynnikach a_1=1000, a_2=500, a_3=12345, a_4=23456, a_5=300; s_1=-1, s_2=-1.2, s_3=-0.5, s_4=-2.5, s_5=-0.75. Wielkość zasobu U=10. Wariancja czynnika losowego: 1.0. Wyniki symulacji przedstawiono na rys.6 i 7.

Zestaw danych nr2. Struktura szeregowa.
Ilość operacji m =5. Współczynniki a_i oraz s_i jak w zestawie nr 1. Wielkość zasobu U=10. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 8 i 9.

Zestaw danych nr 3. Struktura równoległo-szeregowa.
Liczba podkompleksów w szeregu: 3. W pierwszym podkompleksie operacje:1,2, w drugim 3 i 4, w trzecim 5 i 6. Ilość operacji m =6. Współczynniki modeli a_1=1000, a_2=600, a_3=1500, a_4=400, a_5=3400, a_6=300; s_1=-1.0, s_2=-1.2, s_3=-2.0, s_4=-0.2 s_5=-2.5, s_6=-0.1. Wielkość zasobu U=10. Wariancja czynnika losowego: 10. Wyniki symulacji przedstawiono na rys. 10 i 11.



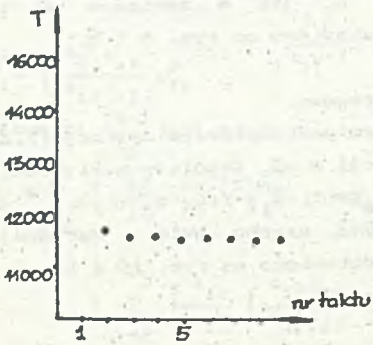
Rys.6. Przebieg sterowania dla danych nr1.
Fig.6. The results for the first data set.



Rys.7. Wykres zmian wskaźnika γ dla zestawu danych nr1.
Fig.7. Dependence of the index γ on the number of steps.

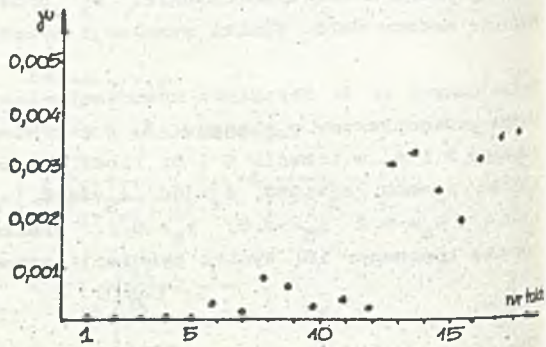
Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych, których przykładowe wyniki są przedstawione na rys. 7-11, można wyciągnąć wniosek, że algorytm adaptacji z użyciem identyfikacji lokalnej jest prostszy i szybszy od algorytmu używającego adaptacji globalnej. Przy tym im większa złożoność struktury kompleksu, tym różnica w szybkości działania jest wyraźniejsza. Po przeprowadzeniu dużej liczby badań stwierdzono, że wyniki sterowania adaptacyjnego przez identyfikację globalną są z reguły lepsze od wyników

sterowania przy użyciu identyfikacji lokalnej. Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi. Wraz ze wzrostem złożoności struktury kompleksu adaptacja poprzez identyfikacje globalną daje coraz lepsze rezultaty w porównaniu z identyfikacją lokalną. O ile dla prostego kompleksu o strukturze równoległej (rys.7) różnice są niewielkie, to np. d struktury równoległo-szeregowej są znacznie większe (rys.11). Oprócz złożoności struktury istotną rolę odgrywa postać modeli operacji. Im większa jest rozbieżność między rzeczywistą operacją a jej modelem przyjmowanym dla potrzeb identyfikacji, tym korzystniejsze jest podejście poprzez identyfikację globalną.



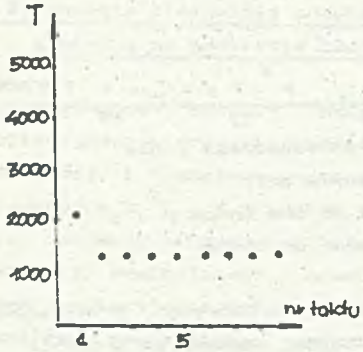
Rys.8. Przebieg sterowania dla danych nr 2.

Fig.8. The results for the second data set.



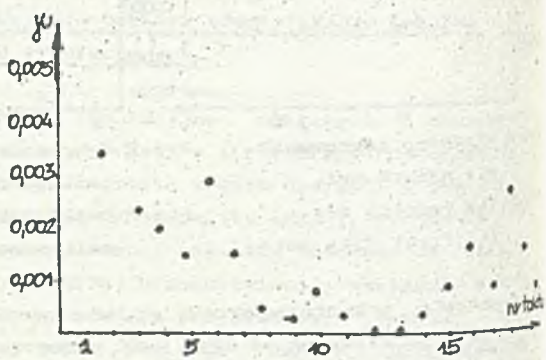
Rys.9. Wykres zmian wskaźnika γ dla zestawu danych nr 2.

Fig.9. Dependence of the index γ on the number of steps.



Rys.10. Przebieg sterowania dla danych nr 3.

Fig.10. The results for the third data set.



Rys.11. Wykres zmian wskaźnika γ dla zestawu danych nr 3.

Fig.11. Dependence of the index γ on the number of steps.

6. Uwagi końcowe

Podsumowując dotychczasowe badania, należy podkreślić przydatność praktyczną zaprezentowanych algorytmów adaptacyjnego sterowania kompleksem operacji. Przy tym podejście poprzez identyfikację globalną daje dokładniejsze wyniki, natomiast użycie identyfikacji lokalnej zapewnia krótszy czas obliczeń algorytmu. W dalszych badaniach wydaje się celowe przeprowadzenie badań algorytmów dla szerszej klasy modeli operacji, a także systematyczne przebadanie znanych algorytmów optymalizacyjnych oraz metod numerycznych rozwiązywania układów równań nieliniowych pod kątem przydatności dla celów sterowania adptacyjnego. Ważnym zadaniem jest opracowanie algorytmów dla bardziej skomplikowanych struktur kompleksu operacji.

LITERATURA

[1] Bubnicki Z.: Identification of control plants, North Holland-Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York, 1980.

[2] Bubnicki Z.: Optymalizacja kompleksów operacji w sterowaniu dyskretnymi procesaami przemysłowymi, Prace VII KKA, tom 3, Rzeszów 1979.

[3] Bubnicki Z.: Optimal models of complex operation systems, 6e Congres International de Cybernetique et de Systemique de l'AFCET, Paris 1984.

[4] Bubnicki Z.: Global modelling and identification of complex systems, Proc. of 7th IFAC/IFORS Symp. York, UK, 1985, Identification and system parameter estimation, Pergamon Press, 1985, pp. 261-283.

[5] Czechowicz K.: Algorytmy czasowo-optymalnego sterowania kompleksami operacji niezależnych, Praca doktorska ICT PWr, Wrocław 1974.

[6] Grygiel L., Kilanowski S., Martowski K., Szyrkowiec A., Optymalizacja, adaptacja i zdecentralizowane sterowanie złożonych systemów operacyjnych (kompleksów operacji), Raport serii Sprawozdania nr 12/87 I-17 PWr, Wrocław 1987.

[7] Martowski k., Pusz G., Wasiewicz E., Optymalizacja, adaptacja i zdecentralizowane sterowanie złożonych systemów operacyjnych (kompleksów operacji), Raport serii sprawozdania nr 19/86, I-17 PWr, Wrocław 1986.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. W. Zaborowski

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ ОПЕРАЦИЙ

Р е з ю м е

В работе рассматривается проблема адаптивного управления комплексом операций с применением идентификации. Предложены алгоритмы адаптивного управления при помощи методов глобальной и локальной идентификаций. Дано сравнение алгоритмов на основе компьютерного моделирования для типичных структур комплексов операций.

SOME PROBLEMS OF THE ADAPTIVE CONTROL FOR THE COMPLEX OPERATION SYSTEMS

S u m m a r y

A model reference adaptive control for the complex of operations is considered in the paper. The algorithms of the adaptive control using local and global identification of the complex are proposed. A comparison of these algorithms for the control of complex operation systems is presented for some typical structures of the complex.