

Zdzisław Bubnicki, Grzegorz Pusz
Politechnika Wrocławska

O WYBORZE STRUKTURY W PEWNYCH ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMACH MONTAŻU

Streszczenie. W pracy porównano przebieg procesu montażu w systemach o strukturze liniowej i elastycznej. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych sterowania procesem montażu przy użyciu zaproponowanych dla struktur liniowej i elastycznej algorytmów.

1. Wstęp

Sterowanie kompleksami operacji obejmuje sterowanie rozdziałem zadań i zasobów, kolejnością wykonania operacji, obsługą i przebiegiem samych operacji. Szereg istotnych problemów z tego zakresu zostało już opracowanych [np. 2,3,4]. Szczególnym i specyficznym przypadkiem sterowania kompleksami operacji jest sterowanie kompleksem operacji montażowych. Problematyka sterowania zrobotyzowanym procesem montażu jest bardzo obszerna. Obejmuje zarówno zagadnienia statyczne [np. 1,7,8], jak i dynamiczne [9]. W szczególności istotny jest problem wyboru struktury systemu montażu. W problemie tym zadana jest kolejność operacji montażowych, które należy wykonać, dany jest także zbiór realizatorów i czasów wykonania poszczególnych operacji. Zadanie polega na znalezieniu takiej struktury systemu, tj. rozmieszczenia elementów i sposobu ich przemieszczania, aby czas realizacji procesu oraz zużycie koniecznych do jego przeprowadzenia zasobów były jak najmniejsze. Zadanie to jest ważne z punktu widzenia efektywnego wykorzystania zasobów w procesie montażu. Niniejsza praca jest poświęcona problemowi wyboru między dwoma często spotykanymi w praktyce strukturami systemów montażu, jakimi są struktura liniowa i struktura elastyczna.

2. Liniowa i elastyczna struktura systemu montażu

W systemie montażu o strukturze liniowej montowany obiekt przemieszcza się wzdłuż linii montażu. Realizatory operacji i magazyny zasobów są ułożone przy poszczególnych odcinkach tej linii i tworzą stanowiska ro-

Praca była częściowo finansowana w ramach programu RP. I.02. "Teoria Sterowania i Optymalizacji Ciągłych Układów Dynamicznych i Procesów Dyskretnych".

bocze. Sekwencja położenia obiektu jest z góry zadana i określona kolejnością wykonywania operacji, przy czym stan $p_n^{(k)}$ n-tego obiektu w chwili k wskazuje, jaka operacja została ostatecznie na obiekcie wykonana. Każdy z realizatorów wykonuje dokładnie jedną operację, przy czym liczba operacji jest równa k_z . Model struktury kompleksu operacji montażowych można przedstawić w postaci grafu Γ . Jeśli O oznacza zbiór wszystkich operacji to graf ten jest zbiorem par

$$(O_1, O_j) \in \Gamma \subset O \times O,$$

gdzie para (O_1, O_j) oznacza, że operacja O_j może się rozpocząć po zakończeniu operacji O_1 . Systemowi montażu o strukturze liniowej odpowiada kompleks operacji o strukturze szeregowej (rys. 1, gdzie łuki grafu oznaczają operacje, a wierzchołki-momenty ich rozpoczęcia i zakończenia).



Rys. 1. Struktura szeregową kompleksu operacji.
Fig. 1. A cascade structure of the complex of operations.

montaż główny, czyli montaż obiektu głównego i montaż pomocnicze, czyli montaż obiektów pomocniczych, które są detalami dla obiektu głównego.

Na model struktury kompleksu operacji dla montażu złożonego składają się:

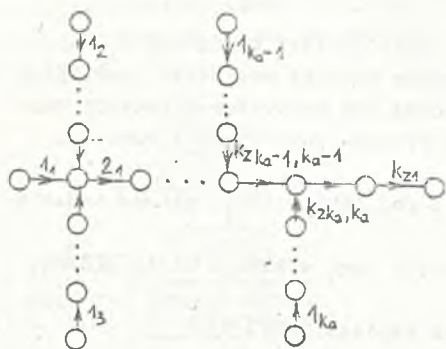
1. Modele struktur podkompleksów operacji dla poszczególnych obiektów, czyli grafy Γ_h (h - numer typu obiektu, $h \in \{1, 2, \dots, k_a\}$, k_a - ilość typów obiektów), tzn. zbiory par $(O_{hi}, O_{hj}) \in \Gamma_h \subset O^{(h)} \times O^{(h)}$, gdzie O_{hi} oznacza i -tą operację dla h -go obiektu, $O^{(h)}$ jest zbiorem wszystkich operacji dla h -go obiektu, k_{zh} - ilość operacji dla h -go obiektu.
2. Model struktury kompleksu operacji, w którym operacjami są podkompleksy odpowiadające poszczególnym typom obiektów, czyli graf Γ , tzn. zbiór par $(K_{O1}, K_{Oj}) \in \Gamma \subset \bar{K}_O \times \bar{K}_O$, gdzie $K_{Oh} \in \{K_{O1}, K_{O2}, \dots, K_{Ok_a}\} \cong \bar{K}_O$, K_{Oh} jest podkompleksem operacji dla obiektu h -go typu, \bar{K}_O jest zbiorem wszystkich podkompleksów.

W przypadku liniowej struktury systemu montażu, struktury kompleksu głównego i podkompleksów pomocniczych są szeregowo (rys. 2, gdzie l_h oznacza l -tą operację w h -tym podkompleksie, kompleks główny ma numer 1).

W przypadku struktury elastycznej systemu montażu sekwencja ruchów obiektów nie jest z góry zadana. Na realizatorze r_l l -tego typu może być wykonywanych wiele operacji z_i (i - numer operacji), przy czym relacja $z_i O r_l$

W przypadku, w którym procesy montażu poszczególne obiekty nie są niezależne, mówimy o montażu złożonym. Typowa struktura systemu montażu złożonego ma charakter hierarchiczny w tym sensie, że wyróżniamy

określa, czy na l -tym typie realizatora może być wykonywana i -ta operacja. Liczba typów realizatorów jest równa k_{rl} , natomiast liczba realizatorów



Rys. 2. Przykład struktury systemu montażu złożonego.

Fig. 2. A sample structure of the complex assembly system.

objektów wejściowych i $M_{0q}^{(k)}$ - q -ty obiekt tego magazynu w chwili k . Ruch obiektów jest więc wynikiem określonych decyzji sterujących. Obowiązuje przy tym zasada, że obiekty częściowo zmontowane mają pierwszeństwo w stosunku do rozpoczynających proces montażu. W przypadku systemu montażu złożonego o strukturze elastycznej operacje na obiektach montażu głównego mogą się odbyć pod warunkiem, że magazyn wykorzystywanych jako detale całkowicie zmontowanych obiektów montażu pomocniczego jest niepełny.

Problem wyboru między strukturą liniową i elastyczną systemu montażu możemy obecnie sformułować następująco: dla danej kolejności operacji wykonywanych w procesie montażu, czasów ich realizacji oraz zbioru realizatorów operacji należy dokonać wyboru pomiędzy strukturą liniową i elastyczną, biorąc pod uwagę całkowity czas procesu montażu określonej liczby obiektów.

3. Algorytm sterowania dla rozważanych przypadków systemów montażu

Algorytm sterowania systemem montażu o strukturze liniowej

W przypadku systemu o strukturze liniowej następna operacja na danym obiekcie może być rozpoczęta pod warunkiem, że poprzednia została zakończona. Obiekty, na których nie jest wykonywana operacja, oczekują w magazynach. Dane są czasy realizacji poszczególnych operacji T_k , gdzie k - numer operacji. Zakładamy, że czasy transportu międzyoperacyjnego są pomijalne. Czas procesu montażu T_A dla ustalonej liczby obiektów N , tj.

l -tego typu jest oznaczona przez k_{rl} . Obiekt montażu po zakończeniu operacji rozpoczyna następną, tzn. jest kierowany do odpowiedniego realizatora. Jeśli brak wolnego realizatora tego typu, na którym operacja może być wykonana, obiekt zostaje ustawiony w kolejce (magazynie) $M_l^{(k)}$ obiektów czekających na zwolnienie realizatora l -tego typu w chwili k .

$M_s^{(k)}$ oznacza s -ty element kolejki (magazynu) $M_l^{(k)}$, natomiast $M_0^{(k)}$ - magazyn

czas między rozpoczęciem pierwszej operacji przez pierwszy obiekt, a zakończeniem ostatniej przez ostatni obiekt, jest dany wzorem [6]:

$$T_A = (N - 1) \max_{k \in \overline{1, k_z}} (T_k) + \sum_{k=1}^{k_z} T_k.$$

W przypadku montażu złożonego operacja linii głównej o numerze k_1 może być rozpoczęta pod warunkiem, że zakończone zostały wszystkie operacje w i -tej linii pomocniczej. Każda linia (główna lub pomocnicza) montuje różne obiekty, ale liczba obiektów każdego rodzaju jest stała i równa N .

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

T_{ij} - czas realizacji j -tej operacji w i -tej linii, linia główna oznaczona jest indeksem zero,

k_{zi} - liczba operacji w i -tej linii, indeks zero wskazuje linię główną,

l - liczba linii pomocniczych.

Czas trwania całego procesu możemy teraz zapisać jako [6]:

$$T_A = \max_{i \in \overline{0, l}} \left\{ (N-1) \max_{j \in \overline{1, k_{zi}}} (T_{ij}), \max_{j \in \overline{k_1, k_{z0}}} (T_{0,j}) + \sum_{j=1}^{k_{z1}} T_{ij} + \sum_{j=k_1}^{k_{z0}} T_{0,j} \right\}$$

przy czym przyjmujemy, że $k_0 = k_{z0} + 1$, oraz $\max_{j \in \overline{k_0, k_{z0}}} (T_{0,j}) = 0$ i $\sum_{j=k_0}^{k_{z0}} T_{0,j} = 0$.

Jako czas realizacji procesu otrzymamy najdłuższy z czasów przetworzenia N elementów, wybranych ze wszystkich możliwych sekwencji operacji przebiegających od pewnego magazynu do ostatniej operacji w linii głównej.

Łatwo zauważyć, że wynik ten można uogólnić na dowolny kompleks operacji o strukturze drzewa, którego korzeniem jest ostatnia operacja, a reguamin obsługi jest analogiczny do przedstawionego powyżej.

Algorytm sterowania systemem montażu o strukturze elastycznej

Algorytm oparty jest na obsłudze zgłoszeń, rozumianych jako sygnały o zakończeniu operacji i polega na sterowaniu ruchem obiektów zgodnie z opisem przedstawionym w punkcie 2. Wprowadźmy następujące oznaczenia:

$S_{1i}^{(k)}$ - zmienna związana z i -tym realizatorem l -tego typu, równa 0, gdy realizator wolny w chwili k , natomiast równa n , gdy w chwili k montowany jest na nim n -ty obiekt,

$\tilde{S}_1^{(k)}$ - zbiór indeksów realizatorów l -tego typu, które nie zostały zajęte w chwili $k-1$,

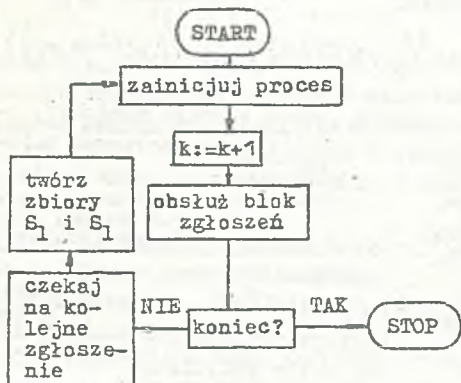
$\bar{S}_1^{(k)}$ - zbiór zgłoszeń, tj. zbiór indeksów realizatorów l -tego typu, które zostały zwolnione w chwili k ,

$\hat{S}_1^{(k)} = \tilde{S}_1^{(k)} \cup \bar{S}_1^{(k)}$ - zbiór indeksów realizatorów l -tego typu, które mogą zostać zajęte w chwili k , przy czym $S_{1s}^{(k)}$ oznacza s -ty element tego zbioru,

P^m - operator usunięcia pierwszych m elementów z kolejki M ,

$\text{Conc}(M_1, M_2)$ - dołączenie kolejki M_2 do kolejki M_1 .

Poniżej przedstawiono (rys. 3) ogólną postać algorytmu sterowania dla przypadku montażu prostego, po czym omówione zostaną poszczególne bloki sieci działań.



Rys. 3. Ogólna postać algorytmu sterowania.

Fig. 3. The general form of the control algorithm.

Zainicjowanie procesu polega na ustaleniu następujących warunków początkowych:

$$k = 0, \bigwedge_{n \in \overline{1, N}} P_n^{(0)} = 0; \text{ wszystkie obiekty są w stanie początkowym,}$$

$$\bigwedge_{i \in \overline{1, k_r}} \bigwedge_{i \in \overline{1, k_{r1}}} S_i^{(0)} = 0;$$

wszystkie realizatory są wolne, $\bigwedge_{i \in \overline{1, k_r}} M_i^{(0)} = \emptyset$; wszystkie kolejki obiektów przetworzonych częściowo są puste,

$M_0^{(0)} = \{1, 2, \dots, N\}$; magazyn obiektów wejściowych zawiera wszystkie obiekty,

$$\bigwedge_{i \in \overline{1, k_r}} \tilde{S}_1^{(0)} = \{1, 2, \dots, k_{r1}\}; \text{ wszystkie stanowiska gotowe do przyjęcia obiektów,}$$

$$\bigwedge_{i \in \overline{1, k_r}} \bar{S}_1^{(0)} = \emptyset; \text{ brak zgłoszeń o zwolnieniu stanowisk.}$$

Warunek zakończenia procesu

$$\bigwedge_{n \in \overline{1, N}} P_n^{(k)} = k_r; \text{ wszystkie obiekty zostały zmontowane.}$$

Tworzenie zbiorów $\tilde{S}_1^{(k)}$ i $\bar{S}_1^{(k)}$

$$\tilde{S}_1^{(k)} = \{i : S_{1i}^{(k-1)} = \emptyset\}$$

$\bar{S}_1^{(k)}$ - tworzący ze wszystkich indeksów stanowisk l-tego typu, które zgłosiły zakończenie wykonywania operacji.

Obsługa bloku zgłoszeń

$\bigwedge_{i \in \overline{1, k_r}} \hat{S}_1^{(k)} = \tilde{S}_1^{(k)} \cup \bar{S}_1^{(k)}$; utworzenie zbioru indeksów realizatorów gotowych do przyjęcia obiektów, zbiory te zostają uporządkowane rosnąco

$$\bigwedge_{n \in \overline{1, N}} P_n^{(k)} = \begin{cases} P_n^{(k-1)} : \bigwedge_{i, j} S_{i, j}^{(k-1)} \neq n \vee j \notin \overline{S_1}^{(k)} \\ P_n^{(k-1)} : \bigvee_{i, j} S_{i, j}^{(k-1)} = n \wedge j \in \overline{S_1}^{(k)} \end{cases}$$

Zmiana stanu elementów, które właśnie zakończyły wykonywanie operacji. Pozostałe obiekty są w stanie poprzednim.

$$\bigwedge_{l \in \overline{1, k_r}} L_l^{(k)} = (\text{conc}(M_1^{(k-1)}), \{n : \bigvee_{i, j} j \in \overline{S_i} \wedge S_{i, j}^{(k-1)} = n \wedge z_{P_{n+1}}^{(k)} \circ r_1\})$$

Dołączenie do odpowiednich kolejek elementów, które właśnie ukończyły operacje. Zapis $M_1^{(k)}$ służy do odróżnienia w zapisie tak tworzonych kolejek od tych, które powstaną po pobraniu z nich obiektów na wolne realizatory.

$$\bigwedge_{\substack{l \in \overline{1, k_r} \\ i \in \overline{1, k_r}}} S_{li}^{(i)} = \begin{cases} S_{li}^{(k-1)}; l, i : i \in \overline{S_1}^{(k)} - \text{brak zmiany stanu realizatora,} \\ \text{gdy montaż trwa,} \\ M_{ls}^{(k)}; l, i : \bigvee_s \hat{S}_{ls} = i \wedge s < \text{card}(M_1^{(k)}) - \text{wprowadzenie} \\ \text{kolejnego elementu z kolejki} \\ \text{na wolny realizator,} \\ M_{0q}^{(k)}; l=1, i : \bigvee_s \hat{S}_{ls} = i \wedge s > \text{card}(M_1^{(k)}) \wedge q \leq \text{card}(M_0^{(k-1)}) \\ \text{wprowadzenie kolejnego obiektu z magazynu wejściowego,} \\ \text{gdy kolejka obiektów przetworzonych została wyczerpana,} \\ 0 - \text{w pozostałych przypadkach.} \end{cases}$$

$$\bigwedge_{l \in \overline{1, k_r}} M_l^{(k)} = F^m(M_l^{(k-1)}); m = \text{card}(\overline{S_1}^{(k)}) - \text{usunięcie z kolejek obiektów} \\ \text{pobraných przez realizatory.}$$

$$M_0^{(k)} = F^{m_0}(M_0^{(k+1)}); m_0 = \frac{\text{card}(\overline{S_1}^{(k)}) - \text{card}(M_1^{(k)}) + \text{card}(\overline{S_1}^{(k)}) - \text{card}(M_1^{(k)})}{2},$$

usunięcie z magazynu tych obiektów, które rozpoczęły pierwszą operację.

Algorytm dla przypadku montażu złożonego uwzględnia warunek, że pewne operacje na obiektach montażu głównego wymagają, aby magazyn odpowiedniego typu detali (zmontowanych obiektów montażu pomocniczego) był niepusty.

4. Porównanie przebiegu procesu montażu w systemach o strukturze liniowej i elastycznej na podstawie wyników badań symulacyjnych

Przekształcenie algorytmu sterowania w model symulacyjny rozważanego procesu polega na symulowaniu występowania zgłoszeń o zakończeniu realizacji operacji, a więc upływu czasu. Z każdym realizatorem zostaje zwią-

znana funkcja postępu czasu, określająca, ile czasu pozostało do końca wykonywania operacji. Wybór najmniejszej z wartości związanych w danej chwili z realizatorami pozwala określić, kiedy pojawi się następne zgłoszenie. Program symulacji oblicza wartość wskaźnika jakości przejścia ze struktury liniowej do elastycznej η . Wskaźnik ten definiowany jest jako

$$\eta = \frac{T_A \pi_B}{T_A},$$

gdzie T_A - czas trwania całego procesu dla struktury liniowej, T_B - czas trwania procesu dla struktury elastycznej. Poniżej podane zostaną przykładowe wyniki symulacji dla systemów montażu prostego i złożonego.

Tabela 1.
Wartości wskaźnika jakości przejścia η dla zestawów danych 1-3

Ilość obiektów N	Numer zestawów danych		
	1	2	3
5	0.3448	0.3400	0.3975
10	0.4599	0.2343	0.5083
15	0.4409	0.2400	0.5625
20	0.4359	0.1938	0.5848
40	0.4526	0.1936	0.6298
60	0.4518	0.2000	0.6420
80	0.4513	0.1820	0.6521
100	0.4511	0.1843	0.6565
200	0.4505	0.1795	0.6646
400	0.4502	0.1794	0.6695
600	0.4502	0.1801	0.6708
800	0.4501	0.1793	0.6717
1000	0.4501	0.1784	0.6722

Montaż prosty

Poniżej podano wyniki symulacji dla następujących zestawów danych:

Zestaw 1.

$$k_2 = 5, k_r = 2, k_{r1} = 3, k_{r2} = 2, \\ T_1 = 2, T_2 = 3, T_3 = 15, T_4 = 30, \\ T_5 = 4.$$

Na pierwszym typie realizatorów (dla struktury elastycznej) są wykonywane operacje 1, 3, 5, na drugim typie realizatorów - operacje 2 i 4. Dla struktury liniowej każdy z realizatorów wykonuje dokładnie jedną operację i czasy ich wykonania są takie same, jak dla struktury elastycznej.

Zestaw 2.

$$T_1 = 15, T_2 = 2, T_3 = 10, T_4 = 1, \\ T_5 = 12. \text{ Pozostałe dane jak w zestawie 1.}$$

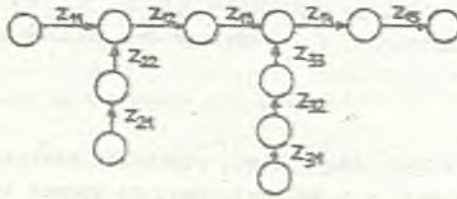
Zestaw 3.

$$k_2 = 10, k_r = 4, k_{r1} = 2, k_{r2} = 1, k_{r3} = 4, k_{r4} = 3, \\ T_1 = 12, T_2 = 13,5, T_3 = 45, T_4 = 4, T_5 = 8, T_6 = 1, T_7 = 23, T_8 = 2, \\ T_9 = 17, T_{10} = 2.7.$$

Typ 1 realizatorów wykonuje operacje 1 i 5, typ 2 - operację 2, typ 3 - operacje 3, 6, 8, 10, typ 4 - operacje 4, 7, 9.

Montaż złożony

Podane zostaną wyniki symulacji dla kompleksu operacji o strukturze przedstawionej na rys. 4, gdzie x_{hi} oznacza i-tą operację na obiekcie h-tego typu.



Rys. 4. Struktura kompleksu operacji dla systemu montażu złożonego.
Fig. 4. The structure of the complex of operations for a complex assembly system.

Czasy $\tau_{z_{ii}}$ realizacji operacji z_{ii} są następujące:

$$\tau_{11} = 4, \tau_{12} = 8, \tau_{13} = 12, \tau_{14} = 6, \tau_{15} = 5,$$

$$\tau_{21} = 8, \tau_{22} = 3, \tau_{31} = 4, \tau_{32} = 7, \tau_{33} = 3$$

Dla tak określonej struktury i przyjętych czasów realizacji operacji przeprowadzono badania dla następujących zestawów pozostałych danych:

Zestaw A (struktura liniowa).

$$k_r = 10, k_{r1} = k_{r2} = \dots = k_{r10} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów operacjom podano w postaci tabeli:

Indeksy operacji	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,1	2,2	3,1	3,2	3,3
Numer typu realizatora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Zestaw B.

$$k_r = 10, k_{r1} = 1, k_{r2} = 1, k_{r3} = 2, k_{r4} = k_{r5} = \dots = k_{r10} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów identyczne jak poprzednio.

Zestaw C.

$$k_r = 10, k_{r1} = 1, k_{r2} = 2, k_{r3} = 2, k_{r4} = 1, k_{r5} = 1, k_{r6} = 2,$$

$$k_{r7} = k_{r8} = k_{r9} = k_{r10} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów identyczne jak w zestawie A.

Zestaw D.

$$k_r = 7, k_{r1} = \dots = k_{r7} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów operacjom:

Indeksy operacji	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,1	2,2	3,1	3,2	3,3
Nr typu realizatora	1	2	3	1	4	5	6	6	7	4

Zestaw E.

$$k_r = 7, k_{r1} = 1, k_{r2} = 1, k_{r3} = 2, k_{r4} = 1, k_{r5} = 1, k_{r6} = 1, k_{r7} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów identyczne jak w zestawie D.

Zestaw F.

$$k_r = 7, k_{r1} = 2, k_{r2} = 2, k_{r3} = 2, k_{r4} = 2, k_{r5} = 1, k_{r6} = 1, k_{r7} = 1.$$

Przyporządkowanie realizatorów identyczne z przypadkiem B.

Tabela 2.
Wartości wskaźnika jakości przejścia
dla podanych zestawów danych

Ilość obiektów N	Zestaw danych				
	B	C	D	E	F
10	0.2400	0.4133	-0.2133	0.0266	0.1666
20	0.2815	0.4148	-0.2666	0.0148	0.1666
40	0.3058	0.4156	-0.2980	0.0078	0.1666
60	0.3146	0.4160	-0.3090	0.0053	0.1666
80	0.3191	0.4161	-0.3151	0.0040	0.1666
100	0.3219	0.4162	-0.3259	0.0032	0.1666
200	0.3275	0.4264	-0.3283	0.0016	0.1666
400	0.3304	0.4165	-0.3308	0.0080	0.1666
600	0.3313	0.4165	-0.3312	0.0050	0.1666
800	0.3318	0.4166	-0.3314	0.0040	0.1666
1000	0.3321	0.4166	-0.3318	0.0030	0.1666

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych systemów montażu prostego można wysunąć wnioski, że czas trwania procesu w przypadku struktury elastycznej jest nie większy niż w przypadku struktury liniowej. Czasy te są równe, gdy w systemie o strukturze elastycznej do wykonywania najdłuższej operacji przeznaczony jest tylko jeden realiza-

tor. Dla dużej liczby obiektów N wartość wskaźnika jakości przejścia ze struktury liniowej do elastycznej zbliża się do następującego wyrażenia:

$$\eta' = \frac{\max_{i \in \overline{1, k_z}} (T_i) - \max_{l \in \overline{1, k_r}} \left(\frac{1}{k_{rl}} \sum_{i=1}^{k_{rl}} T_{li} \right)}{\max_{i \in \overline{1, k_z}} (T_i)}$$

gdzie T_{li} oznacza czas realizacji i -tej spośród operacji wykonywanych na realizatorach l -tego typu.

Podobnie jak dla przypadku montażu prostego, w złożonych systemach montażu przejście ze struktury liniowej do elastycznej przy zachowaniu ilości realizatorów z reguły prowadzi do skrócenia czasu wykonywania procesu. Przypadek E wskazuje, że można także osiągnąć takie same czasy dla obu struktur, przy wykorzystaniu mniejszej ilości realizatorów dla struktury elastycznej. W przypadku struktury liniowej wprowadzenie dodatkowych realizatorów dla operacji o najdłuższym czasie wykonania wyraźnie skraca czas montażu. W przypadku struktury elastycznej nie jest to tak widoczne i w bardziej złożony sposób zależy od przyporządkowania realizatorów operacjom.

5. Uwagi końcowe

Przeprowadzone badania wykazały ważność problematyki wyboru struktury systemu montażu. Elastyczna struktura systemu montażu pozwala w wielu wy-

padkach na znaczne skrócenie czasu całego procesu i bardziej efektywne wykorzystanie zasobów. Wydaje się, że przedmiotem dalszych badań nad wyborem struktury systemu montażu powinno być uwzględnienie problemu szeregowania zadań. Efektywność systemu o strukturze elastycznej wyraźnie zależy od przyporządkowania operacji realizatorom, a także od kolejności obsługi obiektów. Można także rozważyć przypadek, gdy czasy realizacji operacji na poszczególnych realizatorach różnią się między sobą. Interesującym problemem jest wpływ pojemności magazynów na przebieg procesu montażu, jak również uwzględnienie operacji transportowych w modelu systemu. Dla bardziej skomplikowanych przypadków sterowania systemami montażu, kiedy potrzebna jest reprezentacja wiedzy o procesie, może się okazać celowe podejście z pomocą systemów ekspertowych [5].

LITERATURA

- [1] Assembly Automation. Proc. of V Int. Conf. IFS, Paris 1984.
- [2] Bubnicki Z.: Optymalizacja kompleksów operacji w sterowaniu dyskretnymi procesami produkcyjnymi, Prace VII KKA, tom 3, Rzeszów. 1979.
- [3] Bubnicki Z.: Two-level optimization and control of the complex of operations, VI IFAC Congress, Pergamon Press, Helsinki 1973.
- [4] Bubnicki Z.: Optimal models of complex operation systems, 6^e Congress International de Cybernetique et de Systemique de l'AFCEC, Paris 1984.
- [5] Bubnicki Z.: Wstęp do systemów ekspertowych. PWN, Warszawa 1987.
- [6] Bubnicki Z., Józefczyk J., Kilanowski S., Reyman G., Szyrkowiec A.: Modele, algorytmy sterowania i badania symulacyjne dla podstawowych przypadków procesów montażu, Raport serii SPRAWOZDANIA nr 8/87, 117, PWR, Wrocław 1987.
- [7] Kowalowski K. red.: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [8] Marecki F.: Modele matematyczne i algorytmy alokacji operacji i zasobów na linii montażowej, Z. Nauk. Pol. Śl., Automatyka, z. 82, 1986.
- [9] Reyman G.: State recognition algorithms for robot assembly control, Proc. Conf. Pattern Recognition, Montreal. 1984.

Recenzent: Prof.dr inż.H.Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30.

O ВЫБОРЕ СТРУКТУРЫ В НЕКОТОРЫХ РОБОТИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ МОНТАЖА

Резюме

В работе сравниваются процессы монтажа в системах с линейной и гибкой структурами. Представлены результаты компьютерного моделирования управления процессом монтажа при употреблении предложенных для линейной и гибкой структур алгоритмов.

ON THE CHOICE OF THE STRUCTURE OF THE ROBOT ASSEMBLY SYSTEM

Summary

A comparison of the assembly process in the linear and flexible systems is presented in the paper. The results of a computer simulation of the assembly process using control algorithms proposed for linear and flexible system structures are considered.