ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986
Seria: AUTOMATYKA z. 85 Nr kol. 895

Franciszek Marecki
Politechnika Śląska

OPERATYWNE STEROWANIE SZEREGOWYM SYSTEMEM MAGAZYNÓW BUFOROWYCH *

Streszczenie. W referacie przedstawiono szeregowy system magazynów buforowych. Każdy magazyn składa się z automatycznych transporterów, punktów załadunkowych i wyładunkowych. Jako przykład rozważono magazyn buforowy pomiędzy lakiernią i linią montażu samochodów.

1. Wprowadzenie

Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych obejmuje procesy: technologiczne, transportowe oraz magazynowania [2]. Transport i magazynowanie zajmuje przy tym więcej czasu niż operacje technologiczne [1]. W elastycznych systemach produkcyjnych coraz większego znaczenia nabiera automatyzacja transportu i magazynowania [4].

W niniejszym referacie zostaną rozważone zagadnienia sterowania zautomatyzowanymi magazynami buforowymi typu nitkowego [3]. Magazyny tego typu występują głównie w przemyśle motoryzacyjnym [5], [7].

Klasycznym przeznaczeniem magazynów buforowych jest tłumienie zakłóceń w przepływie materiałów. W przypadku produkcji wieloasortymentowej do magazynów buforowych dostarczane są długie serie, a pobierane krótkie serie lub sekwencje obiektów różnych asortymentów. Z tego względu magazyny buforowe w wieloasortymentowych procesach dyskretnych odgrywają rolę "mieszalników".

Z uwagi na dyskretny i deterministyczny charakter procesów w magazynach buforowych typu nitkowego do ich opisu można wykorzystać równania stanu [6]. W referacie zostanie przedstawiony model matematyczny przepływu obiektów przez system szeregowych magazynów buforowych typu nitkowego. Sterowanie w tym modelu polega na podejmowaniu decyzji w punktach przeładunkowych.

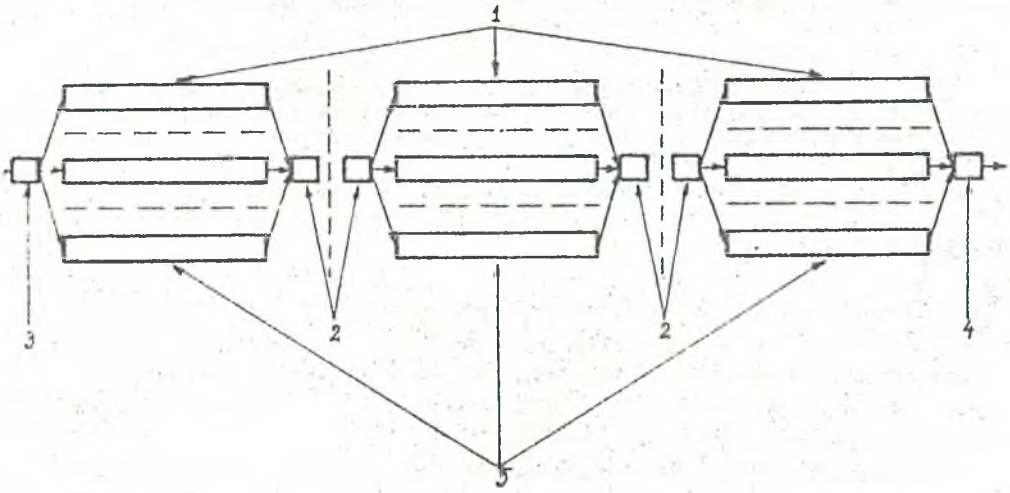
2. Opis systemu i procesu

Rozważymy transport karoserii samochodowych od lakierni do linii montażowej. Z lakierni wychodzą serie karoserii określonego koloru. Ponadto mogą to być serie karoserii różnych wersji. Do linii montażowej powinny wchodzić karoserie tworząc mieszaną sekwencję wersji i koloru. Zakłada

* Praca była częściowo finansowana przez RP.I.02 "Teoria sterowania i optymalizacja ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych" oraz CPBR 7.4 "Mechanizacja i automatyzacja procesów montażu".

się, że dane są serie karoserii wychodzące z lakierni oraz mieszana sekwencja wersji i koloru karoserii, które powinny wejść do linii montażowej.

Pomiędzy lakiernią i linią montażową znajdują się magazyny buforowe typu nitkowego, co pokazano na rys. 1.



Rys. 1. System magazynów buforowych typu nitkowego tworzących strukturę szeregową /1 - magazyny buforowe, 2 - punkty przeładunkowe, 3 - punkt wejściowy, 4 - punkt wyjściowy, 5 - nitki magazynu/

Fig.1. Buffer stores system of thread type creating sequential structure

Magazyny te tworzą strukturę szeregową. Każdy magazyn składa się z określonej liczby nitek. Nitka zawiera określoną liczbę stacji. Każdy magazyn ma swoje punkty załadunkowy i wyładunkowy. Punkt załadunkowy pierwszego magazynu jest punktem wejściowym systemu. Punkt wyładunkowy ostatniego magazynu jest punktem wyjściowym systemu. Każdy z pozostałych punktów jest wyładunkowym dla poprzedniego magazynu oraz załadunkowym dla następnego magazynu. Zatem są to punkty przeładunkowe.

Transport karoserii od lakiernii do linii montażowej jest automatyczny /karoserie są transportowane za pomocą podwieszonych układów łańcuchowych/. Położenie karoserii jest ustalane za pomocą wyłączników krańcowych. Karoserie są lokowane w nitkach na ostatnich wolnych stacjach. Wyprowadzenie karoserii z magazynu do punktu przeładunkowego następuje z ostatniej stacji wybranej nitki. Wprowadzenie karoserii do wybranej nitki magazynu /na ostatnią wolną stację/ następuje z punktu przeładunkowego. Karoserie

są wprowadzane do systemu poprzez punkt wejściowy w ustalonej kolejności. Kolejność karoserii wyprowadzanych z systemu /poprzez punkt wyjściowy/ może nie być zgodna z zadaną sekwencją. W takim przypadku występują straty wynikające ze zmiany wersji oraz koloru karoserii na linii montażowej.

Proces transportu karoserii poprzez nitkowe magazyny buforowe jest cykliczny. W każdym cyklu z magazynu można wyprowadzić karoserię. Ponadto do magazynu można także wprowadzić karoserię, jeśli znajdowała się w punkcie załadunkowym. Zakłada się, że w każdym cyklu podejmowane są decyzje o wyładunku i załadunku karoserii w każdym magazynie - od ostatniego do pierwszego.

Celem operatywnego sterowania transportem karoserii w szeregowym systemie nitkowych magazynów buforowych jest minimalizacja strat wynikających ze zmiany wersji oraz koloru wyprowadzanych karoserii. Decyzje o wyładunku i załadunku magazynów w każdym cyklu są określone na podstawie heurystycznych reguł. Rezultat sterowania dla danej reguły jest zależny od stanu początkowego zapełnienia buforów, serii karoserii otrzymywanych z lakierni oraz zadanej sekwencji karoserii dla linii montażowej.

3. Model matematyczny

3.1. Założenia

W modelu matematycznym procesu transportu karoserii w szeregowym systemie nitkowych magazynów buforowych zasadnicze znaczenie ma określenie stanu i sterowania. Stan powinien określać wersję i kolor karoserii znajdującej się w każdym punkcie przeładunkowym lub stacji - po każdym cyklu. Sterowanie ma określać w każdym cyklu dla każdego magazynu buforowego:
- numer nitki, z której karoseria jest wyprowadzana,
- numer nitki, do której karoseria jest wprowadzana.

Wejście systemu opisuje w każdym cyklu dana sekwencja obiektów. Wyjście systemu jest określone przez sterowanie ostatnim magazynem. Różnica między wyjściem rzeczywistym i zadanym pozwala ocenić jakość sterowania /regułą heurystyczną/.

Oznaczmy przez:

k - numer cyklu /$k=1,\dots,K$; gdzie K jest liczbą cykli/

l - numer magazynu /$l=1,\dots,L$; gdzie L jest liczbą magazynów/

m - numer nitki /$m=1,\dots,M_l$, gdzie M_l jest liczbą nitek w l-tym magazynie/.

n - numer stacji /$n=1,\dots,N_{l,m}$; gdzie $N_{l,m}$ jest liczbą stacji w m-tej nitce l-tego magazynu/

Załóżmy, że wersje karoserii oznaczymy przez w /$w=1,\dots,W$; gdzie W jest liczbą wersji/. Kolory karoserii oznaczymy przez r /$r=1,\dots,R$; gdzie R jest liczbą kolorów/. Sekwencję karoserii, które mają być wprowadzone

do systemu w kolejnych cyklach, określa macierz:

$$S = \left[s_{k,j} \right]_{\substack{k=1,\dots,K \\ j=1,2}} \qquad /1/$$

przy czym

$$s_{k,1} = \begin{cases} w, & \text{jeśli w k-tym cyklu do systemu ma być wprowadzona karoseria wersji w;} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /1a/$$

oraz

$$s_{k,2} = \begin{cases} r, & \text{jeśli w k-tym cyklu do systemu ma być wprowadzana karoseria koloru r;} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /1b/$$

W analogiczny sposób określimy zadane wyjście systemu

$$Z = \left[z_{k,j} \right]_{\substack{k=1,\dots,K \\ j=1,2}} \qquad /2/$$

przy czym

$$z_{k,1} = \begin{cases} w, & \text{jeśli w k-tym cyklu z systemu ma być wyprowadzana karoseria wersji w;} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /2a/$$

oraz

$$z_{k,2} = \begin{cases} r, & \text{jeśli w k-tym cyklu z systemu ma być wyprowadzona karoseria koloru r;} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases}$$

Załóżmy, że dane są macierze strat

$$A = \left[a_{w,i} \right]_{\substack{w=1,\dots,W \\ i=1,\dots,W}} \qquad /3/$$

$$B = \left[b_{r,j} \right]_{\substack{r=1,\dots,R \\ j=1,\dots,R}} \qquad /4/$$

gdzie: $a_{w,i}$ - strata wynikająca z dostarczenia linii karoserii wersji i zamiast wersji w;

$b_{r,j}$ - strata wynikająca z dostarczenia linii karoserii koloru j zamiast koloru r.

Zatem strata sumaryczna w k-tym cyklu q_k jest sumą:

$$q_k = a_{w,i} + b_{r,j}, \qquad /5/$$

natomiast suma strat Q w procesie transportu karoserii

$$Q = \sum_{k=1}^{k=K} q_k \qquad /6/$$

Straty te powinny być możliwie małe.

3.2. Podstawowe definicje

Na podstawie wprowadzonych założeń zdefiniujemy obecnie: stan X, sterowanie U oraz wyjście Y.

Def. 1a: Stan procesu na n-tej stacji m-tej nitki l-tego magazynu po k-tym cyklu oznaczamy przez $X(k,l,m,n)$ i zapisujemy w postaci wektora

$$X(k,l,m,n) = \left[x_i(k,l,m,n) \right]_{i=1,2} \qquad /7/$$

Elementy tego wektora określamy następująco:

$$x_1(k,l,m,n) = \begin{cases} w, & \text{jeśli po k-tym cyklu na n-tej stacji m-tej nitki l-tego magazynu znajduje się karoseria wersji w,} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /7a/$$

$$x_2(k,l,m,n) = \begin{cases} r, & \text{jeśli po k-tym cyklu na n-tej stacji m-tej nitki l-tego magazynu znajduje się karoseria koloru r,} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /7b/$$

Dla jednolitego zapisu przyjmiemy, że $X(k,l,0,0)$ jest stanem punktu załadunkowego przed l-tym magazynem.

Def. 1b: Stan procesu dla m-tej nitki l-tego magazynu po k-tym cyklu jest zbiorem

$$Z(k,l,m) = \left\{ X(k,l,m,n) \right\}_{n=1,\ldots,N_{l,m}} \qquad /8/$$

Uwzględniając stan punktu przeładunkowego otrzymamy:

Def. 1c: Stan procesu dla l-tego magazynu po k-tym cyklu jest zbiorem

$$X(k,l) = \{X(k,l,m,n)\} \qquad m=0,\dots,M_l \quad n=0,\dots,N_{l,m} \qquad /9/$$

Def. 1d: Stan procesu w systemie po k-tym cyklu jest zbiorem

$$X(k) = \{X(k,l,m,n)\} \qquad l=1,\dots,L \quad m=0,\dots,M_l \quad n=0,\dots,N_{l,m} \qquad /10/$$

Na podstawie wprowadzonej definicji stanu możemy zapisać:

- warunek początkowy procesu

$$X(0) = \{X(0,l,m,n)\} \qquad l=1,\dots,L \quad m=0,\dots,M_l \quad n=0,\dots,N_{l,m} \qquad /11a/$$

- warunek końcowy procesu

$$X(K+1) = \{X(K+1,l,m,n)\} \qquad l=1,\dots,L \quad m=0,\dots,M_l \quad n=0,\dots,N_{l,m} \qquad /11b/$$

- lewostronny warunek brzegowy procesu jest określony przez macierz /1/, natomiast zadane wyjście z systemu - przez macierz /2 .

Def. 2a: Sterowanie procesem w k-tym cyklu jest dla l-tego magazynu jest wektorem

$$U(k,l) = [u_i(k,l)]_{i=1,2} \qquad /12/$$

Elementy tego wektora określamy następująco:

$$u_1(k,l) = \begin{cases} m, & \text{jeśli w k-tym cyklu obiekt znajdujący się w punkcie załadunkowym l-tego magazynu ma być ulokowany w m-tej nitce} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /12a/$$

oraz

$$u_2(k,l) = \begin{cases} \mu, & \text{jeśli w k-tym cyklu obiekt z } \mu\text{-tej nitki l-tego magazynu ma być ulokowany w punkcie rozładunkowym} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /12b/$$

Def. 2b: Sterowanie procesem w k-tym cyklu w systemie jest zbiorem

$$U(k) = \left\{U(k,l)\right\}_{l=1,\dots,L} \qquad /13/$$

Def. 3: Wyjściem systemu po k-tym cyklu jest wektor

$$Y(k) = \left[y_i(k)\right]_{i=1,2} \qquad /14/$$

gdzie: $y_1(k)$ - wersja karoserii, która po k-tym cyklu wychodzi z linii;
$y_2(k)$ - kolor karoserii, która po k-tym cyklu wychodzi z linii.

Jeżeli po k-tym cyklu otrzymamy

$$\begin{aligned} i &= y_1(k) \\ j &= y_2(k) \\ w &= z_{k,1} \\ r &= z_{k,2} \end{aligned} \qquad /15/$$

to strata wyniesie q_k /zgodnie z /5//.

4. Równania stanu

Równania stanu są zależnościami logicznymi pozwalającymi przejść od stanu $X(k-1)$ do stanu $X(k)$ dla $k=1,\dots,K$. Stan systemu jest zbiorem stanów magazynów l, $l=1,\dots,L$.
Załóżmy, że z uwagi na opóźnienia transportowe w k-tym cyklu obiekt może przemieścić się tylko pomiędzy magazynem a punktem przeładunkowym. Oznacza to, że obiekt nie może być przesunięty pomiędzy dwoma punktami przeładunkowymi /bez postoju w magazynie/ lub pomiędzy dwoma magazynami /bez postoju w punkcie przeładunkowym/. Ponadto założymy, że przed k-tym cyklem w punkcie wejściowym systemu znajduje się obiekt scharakteryzowany przez k-ty wiersz macierzy /1/. Z kolei przyjmiemy, że w każdym cyklu punkt wyjściowy systemu jest wolny.

Przy powyższych założeniach analizę przepływu obiektów przez system prowadzi się od ostatniego magazynu L do pierwszego magazynu, rozpatrując najpierw wyładunek a potem załadunek. Można to uzasadnić następująco:

- jeżeli l-ty magazyn jest pełny a punkt wyładunkowy pusty, to dopuszczalny jest jedynie wyładunek /a potem załadunek/;
- jeżeli wszystkie magazyny i punkty przeładunkowe są pełne, to dopuszczalny jest jedynie wyładunek z systemu - czyli z ostatniego magazynu /a potem załadunek do tego magazynu i wyładunek poprzedniego magazynu, itd./;
- jeżeli l-ty magazyn jest pusty a punkt załadunkowy pełny, to dopuszczalny jest jedynie załadunek /ponieważ najpierw analizowany jest rozładunek - obiekt załadowany w k-tym cyklu nie może być równocześnie rozładowany/;
- jeżeli wszystkie magazyny i punkty przeładunkowe są puste, to dopuszczalny jest jedynie załadunek do pierwszego magazynu /a w następnym cyklu wyładunek tego obiektu lub załadunek kolejnego obiektu/.

Obiekty wprowadzone do magazynu są lokowane na najdalszej wolnej pozycji wybranej nitki /jeżeli pierwsza pozycja jest zajęta obiekt nie może być wprowadzony do nitki/. Obiekty są wyprowadzane z magazynu tylko z ostatniej pozycji wybranej nitki.

- Stan L-tego magazynu po k-tym cyklu:

I/ Wyładunek

Jeżeli

$$\exists_{1 \leq \mu \leq \varkappa_L} \left[x_1(k-1, L, \mu, N_{L,\mu}) > 0 \right] \wedge \left[u_2(k,L) = \mu \right] \qquad /16/$$

to stan μ-tej nitki ma postać:

$$x_1'(k,L,\mu,n) = \begin{cases} x_1(k-1,L,\mu,n-1) & \text{dla } n=2,\dots,N_{L,\mu} \\ 0, & \text{dla } n=1 \end{cases} \qquad /17/$$

Dla nitek $j \neq \mu$ otrzymamy:

$$x_1'(k,L,j,n) = x_1(k-1,L,j,n) \qquad /17a/$$

$$i=1,2$$
$$n=1,\dots,N_{L,j}$$

Równocześnie otrzymujemy wyjście

$$y_i(k) = x_i(k-1,L,\mu,N_{L,\mu}) \qquad /18/$$

$$i=1,2$$

oraz

$$q_k = a_{z_{k,1}}, y_1(k) + b_{z_{k,2}}, y_2(k) \qquad /19/$$

$$Q(k) = \sum_{\varkappa=j}^{\varkappa=k} q_\varkappa \qquad /20/$$

II/ Załadunek

Jeżeli $\exists_{1 \leq m \leq M_L} \left[x_1'(k,L,m,1) = 0 \right] \wedge \left[x_1(k-1,L,0,0) > 0 \right] \wedge$

$$\wedge \left[u_1(k,L) = m \right] \qquad /21/$$

to stan m-tej nitki ma postać:

$$x_1(k,L,m,n) = \begin{cases} x_1(k-1,L,0,0), & \text{dla } n = \gamma \\ 0, & \text{dla } 1 \leq n < \gamma \\ x_1(k,L,m,n), & \text{dla } \gamma < n \leq N_{L,m} \end{cases} \qquad /22/$$

Pozycja γ-ta w m-tej nitce spełnia warunek

$$\forall_{\gamma < n} \left[x_1'(k,L,m,\gamma) = 0 \right] \wedge \left[x_1'(k,L,m,n) > 0 \right] \qquad /23/$$

Tak więc jest to najdalsza wolna pozycja w nitce.
Dla nitek $j \neq m$ otrzymamy:

$$x_i(k,L,j,n) = x_i'(k,L,j,n) \qquad /24a/$$

$$i=1,2$$
$$n=1,\ldots,N_{L,j}$$

oraz:

$$x_i'(k,L,0,0) = \begin{cases} x_i(k-1,L,0,0) \text{ jeśli } u_1(k,L) = 0 \\ 0, \text{ w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad /24b/$$

Zatem w stanie $X(k,L)$ w fazie wyładunku ulega modyfikacji μ-ta nitka, natomiast w fazie załadunku m-ta nitka.

- Stan dla l-tego magazynu po k-tym cyklu $(1 < l < L)$:

I/ Wyładunek

Jeżeli $\exists_{1 \leq \mu \leq M_l} \left[x_1(k-1,l,\mu,N_{l,\mu}) > 0 \right] \wedge \left[x_1'(k,l+1,0,0) = 0 \right] \wedge$

$$\wedge \left[u_2(k,l) = \mu \right] \qquad /25/$$

to stan μ-tej nitki ma postać:

$$x_i'(k,l,\mu,n) = \begin{cases} x_i(k-1,l,\mu,n-1), & \text{dla } n=2,\ldots,N_l, \\ 0, & \text{dla } n=1 \end{cases} \qquad /26/$$

$$i=1,2$$

Dla nitek $j \neq \mu$ otrzymamy:

$$x_i'(k,l,j,n) = x_i(k-1,l,j,n) \qquad /27/$$

$$i=1,2$$
$$n=1,\ldots,N_{l,j}$$

Równocześnie otrzymujemy:

$$x_i(k,1+1,0,0) = \begin{cases} x_i(k-1,1,\mu,N_{1,\mu}), & \text{jeśli } u_2(k,1)=\mu \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad i=1,2 \qquad /28/$$

II/ Załadunek

Jeżeli

$$\exists_{1\leq m\leq M_1} \left[x_i'(k,1,m,1)=0\right] \wedge \left[x_i(k-1,1,0,0)>0\right] \wedge \left[u_1(k,1)=m\right] \qquad /29/$$

to stan m-tej nitki ma postać:

$$x_i(k,1,m,n) = \begin{cases} x_i(k-1,1,0,0), & \text{dla } n=\nu \\ 0, & \text{dla } 1\leq n<\nu \\ x_i(k,1,m,n), & \text{dla } \nu<n\leq N_{1,m} \end{cases} \qquad i=1,2 \qquad /30/$$

Pozycja ν jest najdalszą wolną pozycją w m-tej nitce.

- Stan dla pierwszego magazynu po k-tym cyklu:

I/ Wyładunek

Jeżeli

$$\exists_{1\leq\mu\leq M_1} \left[x_i(k-1,1,\mu,N_{1,\mu})>0\right] \wedge \left[x_i'(k,2,0,0)=0\right] \wedge \left[u_2(k,1)=\mu\right] \qquad /31/$$

to stan μ-tej nitki ma postać:

$$x_i'(k,1,\mu,n) = \begin{cases} x_i(k-1,1,\mu,n-1), & \text{dla } n=2,\ldots,N_1, \\ 0, & \text{dla } n=1 \end{cases} \qquad i=1,2 \qquad /32/$$

Dla nitek $j\neq\mu$ otrzymamy:

$$x_i'(k,1,j,n) = x_i(k-1,1,j,n) \qquad i=1,2 \quad n=1,\ldots,N_{1,j} \qquad /33/$$

Równocześnie otrzymujemy:

$$x_i(k,2,0,0) = \begin{cases} x_i(k-1,1,\mu,N_{1,\mu}), & \text{jeśli } u_2(k,1)=\mu \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \qquad i=1,2 \qquad /34/$$

II/ Załadunek

Jeżeli

$$\exists_{1\leq m\leq M_1} \left[x_i'(k,1,m,1)=0\right] \wedge \left[u_1(k,1)=m\right] \wedge \left(s_{k,1}>0\right) \qquad /35/$$

to stan m-tej nitki ma postać:

$$x_i(k,1,m,n) = \begin{cases} s_{k-1,i}, & \text{dla } n=\nu \\ 0, & \text{dla } 1 \leq n < \nu \\ x_i'(k,1,m,n), & \text{dla } \nu < n \leq N_{1,m} \end{cases} \qquad /36/$$

Pozycja ν-ta jest najdalszą wolną pozycją w m-tej nitce.
Dla nitek $j \neq m$ otrzymamy:

$$x_i(k,1,j,n) = x_i'(k,1,j,n) \qquad i=1,2 \qquad /37/$$

Ponadto

$$x_i(k,1,0,0) = s_{k,i} \qquad i=1,2 \qquad /38/$$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że stany dla magazynów można zapisać w postaci:

$$\begin{aligned} X(k,L) &= f_L[X(k-1, L-1), X(k-1, L), U(k,L)] \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ X(k,l) &= f_l[X(k-1,l-1), X(k-1,l), U(k,l)] \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ X(k,1) &= f_1[X(k-1, 1), S(k), U(k, 1)] \end{aligned} \qquad /39/$$

gdzie: $S(k)$ -k-ty wiersz S

Ponadto

$$Y(k) = g[X(k-1, L), U(k, L)] \qquad /40/$$

gdzie: f, g - funkcje transformacji.

Zatem równania stanu dla systemu mają postać:

$$X(k) = F[X(k-1), S(k), U(k)] \qquad /41/$$

$$Y k = G[X(k-1), U(k)] \qquad /42/$$

gdzie: F, G - funkcje transformacji

Sterowanie $U(k)$ jest oceniane na podstawie funkcji H,

$$Q(k) = H[Y(k), Z(k)] \qquad /43/$$

Jeśli sterowanie $U(k)$ jest dobierane w każdym cyklu wg pewnej reguły heurystycznej, to mówimy o sterowaniu operatywnym.

5. Opis programu

W oparciu o przedstawiony model matematyczny i równania stanu został opracowany program w języku BASIC na mikrokomputer ZX SPECTRUM . Działanie tego programu może być automatyczne /dobór sterowania wg ustalonych reguł heurystycznych/ lub konwersacyjne /sterowanie wprowadzone z klawiatury dla każdego punktu przeładunkowego w każdym cyklu/. Dane o strukturze systemu, stanie początkowym, zadanych sekwencjach oraz współczynnikach kar są wprowadzone w trybie konwersacyjnym z klawiatury.
Kolejne fazy programu /pytania i odpowiedzi/ są wyświetlane na ekranie monitora. Przebieg obliczeń jest następujący:

Faza 1: Pytania o liczbę linii /od 1 do 5/ w kolejnych magazynach /od 1 do 3/. Po wprowadzeniu danych na ekranie monitora wyświetlony jest rysunek podobny do rys. 1.

Faza 2: Pytania o sposób wprowadzenia stanu początkowego /automatyczny lub ręczny z klawiatury/. W przypadku automatycznym należy kolejno zadeklarować liczbę wersji obiektów/od 1 do 10/ oraz liczbę kolorów /od 1 do 6/. Po tym następuje losowe /rozkład równomierny/ ustalenie stanu początkowego. Na ekranie monitora wersje są oznaczane literami /od a do j/, natomiast kolory są naturalne wg kodu dla SPECTRUM . Karoserie są reprezentowane przez kolorowe kwadraty znajdujące się na pozycjach nitek. W tej fazie karoserie nie są upakowane w nitkach /pomiędzy karoseriami mogą być wolne pozycje/.

Faza 3: Pytanie o zmianę danych początkowych. Można tu wprowadzić korekty do wygenerowanego losowo stanu początkowego. Jeżeli dane mają być wprowadzone ręcznie z klawiatury, to można to wykonać korygując losowy stan początkowy. W tym celu trzeba kolejno dla każdej karoserii zadeklarować: nr magazynu, nr nitki, nr pozycji oraz kolor i wersję. Jeżeli wszystkie zmiany zostały wprowadzone, następuje automatyczne upakowanie wszystkich karoserii.

Faza 4: Wprowadzenie współczynników kar. Można to zrobić automatycznie lub ręcznie z klawiatury. Na ekranie monitora są wyświetlane dodatkowo tablice kar. Przy wyborze ręcznego sposobu wprowadzenia współczynników kar trzeba z klawiatury wprowadzić wartości wszystkich elementów dwóch macierzy. Po wyborze pracy automatycznej elementy macierzy kar są generowane losowo /rozkład równomierny/. Są to liczby całkowite od 0 do 9 /kary za zmianę koloru są mnożone przez 0,1/.

Losowo wprowadzone współczynniki kar można zmieniać deklarując kolejno: nr macierzy, nr wiersza i kolumny oraz podając wartość kary.

Faza 5: Podawane są kolejno serie karoserii tworzące zadaną sekwencję wejściową /od 1 do 50 obiektów/. Dane o każdej serii: liczba obiektów, wersja, kolor są wprowadzane odrębnie. Na ekranie monitora wyświetlana jest aktualna podsekwencja 8 obiektów podawanych do wejścia systemu. W analogiczny sposób wprowadzane są: liczby obiektów w serii, wersja i kolor - dla zadanej sekwencji wyjściowej. Ostatnią z wprowadzanych danych jest liczba obiektów, które należy przekazać do linii montażowej /liczba cykli/.

Faza 6: Sterowanie operatywne magazynami buforowymi /ręczne lub automatyczne/. Na ekranie monitora pokazana jest barwna plansza magazynów buforowych z karoseriami. Przed punktem wejściowym systemu pokazanych jest 8 obiektów sekwencji wejściowej. Analogicznie przy punkcie wyjściowym pokazanych jest 8 obiektów sekwencji zadanej. Ponadto na ekranie przedstawione są dodatkowe informacje:
- kara za karoserię, która zostałaby wzięta z określonej nitki ostatniego magazynu buforowego,
- sumaryczna kara za przekazywanie do linii montażowej karoserii niezgodnych z żądanymi,
- rodzaj sterowania /ręczne lub automatyczne/ oraz aktualna liczba cykli.

Operator podejmuje decyzje i odpowiada na pytania stawiane przez komputer. Najpierw wybierany jest magazyn buforowy, następnie faza załadunku lub wyładunku. W końcu należy podać numer nitki, z której następuje wyładunek karoserii /lub, do której następuje załadunek karoserii/. Jeżeli podejmowana jest decyzja o wyładunku karoserii z systemu, to przy nitkach ostatniego magazynu są podawane współczynniki strat /dla ewentualnej decyzji/. Decyzja operatora może być oparta na informacji przedstawionej na planszy monitora. Po zakończeniu sterowania dla zadanej liczby cykli symulację można powtórzyć dla tych samych warunków początkowych.

6. Przykłady

Dla ilustracji wprowadzonego problemu sterowania operatywnego przedstawione zostaną 2 przykłady obliczeniowe. W każdym z przykładów rozważany jest ~~zerowy~~ szeregowy system dwóch magazynów buforowych. Każdy magazyn składa się z 3 nitek o 5 pozycjach. Przyjmuje się 6 wersji po 5 karoserii /każda w jednym kolorze/. Sekwencja wejściowa ma postać: 5A-5B-5C-5D-5E-5F. Karoserie wersji: A, B, C, D znajdują się w buforach /zostały wprowadzone wg pewnych reguł heurystycznych/ - tworząc warunek początkowy. Karoserie wersji E i F znajdują się przed systemem. Zadana sekwencja wyjściowa ma postać: ABCDEF ABCDEF. Dana jest macierz kar

	A	B	C	D	E	F
A	0	2	3	4	5	6
B	2	0	2	2	3	3
C	3	1	0	2	2	2
D	4	2	1	0	2	2
E	5	2	1	1	0	2
F	6	3	2	1	1	0

Sterowanie dotyczy punktów: załadunkowego, przeładunkowego i wyładunkowego. Należy wyznaczyć efekty sterowania dla 12 cykli.

Przykład 1

Załóżmy, że znając sekwencje wejściową i wyjściową ustalono następujący stan początkowy:

```
          --DDD BBBBA
FFFFFEEEEEX------X---DCX
          DCCCC BAAAA
```

gdzie: X - punkty: załadunkowy, przeładunkowy i wyładunkowy
"-"- wolna pozycja nitki

Stany po kolejnych cyklach /od 1 do 5/:

```
Cykl
          ---DD -BBBB
 1   FFFFFEEEEE------D---DCA
          DCCCC BAAAA

          ----D -DBBB
 2   FFFFFEEEE-----ED---DCBA
          DCCCC BAAAA

          ---ED DDBBB
 3   FFFFFEEE------E----DCBA
          DCCCC BAAAA

          --EED DDBBB
 4   FFFFFEE------X----EDCBA
          DCCCC BAAAA

          -EEED DDBBB
 5   FFFFFE------X-----EDCBA
          DCCCC BAAAA
```

Jak widać w 6-tym cyklu nie można wyprowadzić obiektu F /wystąpi kara/. Jednocześnie widzimy, że w cyklach 4 i 5 punkt przeładunkowy był wolny.

Przy założeniu, że w jednym cyklu można przesunąć obiekt od punktu załadunkowego do wyładunkowego, można otrzymać stan po 5 cyklach:

```
 EEEED DDBBB
XFFFFFX-----EDCBA
 DCCCC BAAAA
```

Natomiast po 12 cyklach otrzymamy /bez strat/:

```
 --EEE -DDBB
X--FFFX-----XFEDCBAFEDCBA
 -DCCC -BAAA
```

Przykład 2

Załóżmy stan początkowy/dla danych z przykładu 1/

```
 DDDDD ACACC
X-----XBCABBX
 ----- ABBAC
```

sekwencję wejściową serii obiektów: 5E, 5F, 5A, 5B, 5C, itd.
oraz następującą regułę heurystyczną sterowania operatywnego

a/ Bufor wejściowy jest zapełniany wg reguł

- obiekty wersji D i A do pierwszej nitki
- obiekty wersji E i B do drugiej nitki
- obiekty wersji F i C do trzeciej nitki
- obiekt o dowolnej wersji jest wprowadzany do nitki, w której liczba obiektów jest mniejsza od 2.

b/ Bufor wyjściowy powinien być pełny w każdym cyklu.
Jego zapełnienie przebiega wg reguły a/

c/ Z bufora wyjściowego obiekty są wyprowadzano wg następującej reguły:

- dla wybranego stanu wyznaczane są wszystkie dopuszczalne strategie 5- decyzyjne o wyprowadzeniu obiektów z bufora wyjściowego
- dla każdej strategii dopuszczalnej wyznaczana jest sumaryczna strata /za wyprowadzenie wersji innej niż żądana/
- wyprowadzony jest pierwszy obiekt z najlepszej stacji /o najmniejszej stracie sumarycznej/.

Stosując powyższą regułę heurystyczną otrzymano po 12 cyklach stan

```
 -AAAA DDDDA
C-BBBBXBAAEEEEEEDCBACCACBB
 FFFFF ABBAC
```

sekwencja żądana : FEDCBAFEDCBA

Sumaryczna strata wyniosła 13 jednostek.
Obliczenia wykonano w języku BASIC na mikrokomputerze ATARI 800 XL.

7. Zakończenie

Przedstawione zagadnienia sterowania magazynami buforowymi mają istotne znaczenie praktyczne w przemyśle motoryzacyjnym. W ogólnym przypadku magazyny buforowe typu nitkowego tworzą bardziej złożone struktury /drzewa, antydrzewa itp./.

Z uwagi na dużą złożoność kombinatoryczną problemów sterowania magazynami buforowymi typu nitkowego nie podjęto - jak dotąd - próby określenia algorytmów optymalnych. Algorytmy heurystyczne są również złożone /patrz przykład 2/, a otrzymywane rezultaty są w dużym stopniu zależne od stanu. Z tego względu preferowane jest podejście konwersacyjne. Operator podejmuje decyzje w oparciu o aktualny stan i inne informacje pomocnicze pokazywane na monitorze systemu mikrokomputerowego.

LITERATURA

[1] Assembly Automation, 5-th Internationale Conference organized by IFS, Paris, France, 1984

[2] Automatyzacja Dyskretnych Procesów Przemysłowych, Materiały I, II, III i IV Krajowej Konferencji, ZN Pol. Śl. seria: Automatyka, Gliwice, 1978, 1980, 1982, 1984

[3] Janosz - Kusidło G.: Optymalizacja kolejności montażu różnych wersji samochodów FIAT-126p., Praca dyplomowa magisterska /niepublikowana/, Instytut Automatyki, Pol.Śl., Gliwice, 1980

[4] Kowalowski H. i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych, WNT, Warszawa, 1985

[5] Lach H.: Modele harmonogramowania i sterowania montażem ciągników MF w ZM URSUS, Praca dyplomowa magisterska /niepublikowana/, Instytut Automatyki, Pol.Śl., Gliwice, 1981

[6] Marecki F.: Symulacja cyfrowa przejściowego procesu montażu, VIII KKA, Szczecin 1980, t.I.

[7] Marecki F., Ślesiński I.: Problem harmonogramowania procesu lakierowania karoserii, ZN Pol.Śl., s. Automatyka, z. 64, Gliwice, 1982 ss.83-94

Recenzent: Doc.dr h.inż.Jerzy Klamka

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ БУФЕРНЫХ МАГАЗИНОВ

Р е з ю м е

В статье предоставлена последовательная система буферных магазинов. Каждый магазин состоит из автоматических транспортных устройств, мест загрузки и разгрузки. В качестве примера рассмотрен буферный магазин между окрасочным цехом и сборочной линией автомобилей.

OPERATIVE CONTROL OF THE SEQUENTIAL BUFFER STORES SYSTEM

S u m m a r y

In the paper the sequential buffer stores system is presented . Each store consists of an automatic conveyor loading and unloading points. The buffer store between paint shop and cars assembly line is considered as an example.