ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI SLASKIEJ 1990
Seria: AUTOMATYKA z.101 Nr kol.1083

Franciszek Marecki

Politechnika Śląska

MODEL SYMULACYJNY NITKOWEGO MAGAZYNU BUFOROWEGO Z LINIĄ MONTAŻOWĄ *

Streszczenie. W referacie przedstawiono model matematyczny automatycznego magazynu buforowego oraz linii montażowej z robotami przemysłowymi. Model ten ma postać równań stanu.

1. Wstęp

W elastycznych systemach montażowych obiekty są dostarczane do linii z automatycznych magazynów buforowych. Mogą to być magazyny typu: nitkowego [5], karuzelowego [4] lub wysokościowego [1].
Montaż elastyczny jest montażem wielowersyjnym [1]. W takim przypadku istotne znaczenie ma kolejność montażu obiektów [2]. Magazyny buforowe umożliwiają ograniczony wybór kolejności montażu obiektów.

Do analizy sterowania magazynem buforowym oraz linią montażową z robotami przemysłowymi potrzebny jest model matematyczny. Z uwagi na złożoność problemu może to być jedynie model symulacyjny [3].

W referacie przedstawiony jest opis procesu magazynowania i montażu w postaci równań stanu. W oparciu o ten opis można symulować sterowanie za pomocą różnych algorytmów.

1. Sformułowanie problemu

Magazyn buforowy typu nitkowego składa się z M nitek. Każda nitka ma N pozycji. Na pozycjach mogą znajdować się obiekty różnych wersji. Wyróżniamy W wersji. Ponadto w magazynie wyróżnia się punkt załadunkowy oraz punkt wyładunkowy. Punkt załadunkowy magazynu jest zwykle ostatnią stacją linii transportowej - a punkt wyładunkowy magazynu jest zerową stacją linii montażowej.

Obiekty w nitkach magazynu są przesuwane do najdalszej pozycji, która jest wolna (licząc od wejścia do wyjścia). Wyjściem magazynu jest linia montażowa. W ogólnym przypadku linia montażowa jest sterowana dynamicznie.

* / Praca wchodzi w zakres Programu RP.I.02. w temacie 4.1

Wynika z tego, że obiekty są pobierane z punktu wyjściowego magazynu w chwilach, które nie są znane przed rozpoczęciem procesu montażu.

W chwili zwolnienia punktu wyładunkowego należy podjąć decyzję, z której nitki wyładować obiekt. Można wyładować obiekt znajdujący się na ostatniej pozycji nitki. Analogicznie obiekt znajdujący się w punkcie załadunkowym może być załadowany do nitki, w której są wolne pozycje. Obiekt ten zostanie przesunięty do ostatniej wolnej pozycji.

Zakładając, że transporter przed magazynem porusza się jednostajnie, można przyjąć, że dane są chwile dostępności obiektów w punkcie załadunkowym magazynu. Minimalna różnica między tymi chwilami jest równa cyklowi transportera. Jednakże różnica pomiędzy tymi chwilami może być większa, jeżeli na niektórych pozycjach transportera nie ma obiektów.

Załóżmy, że dane są czasy transportu obiektów z punktu załadunkowego do pierwszej pozycji każdej nitki oraz z ostatniej pozycji każdej nitki do punktu wyładunkowego. Transport ten może być zrealizowany w różny sposób, np. za pomocą robota suwnicowego. Transport obiektów w nitkach odbywa się ze znanym cyklem.

Z punktu widzenia sterowania magazynem buforowym istotne znaczenie mają dwa zdarzenia:

- zwolnienie punktu wyładunkowego (przy zajętej ostatniej pozycji w pewnej nitce),
- pojawienie się obiektu w punkcie załadunkowym, (przy wolnej pozycji w pewnej nitce).

W chwili zwolnienia punktu wyładunkowego należy podjąć decyzję o wyładunku. Jednakże, jeżeli na ostatniej pozycji nitek w magazynie nie ma obiektu, to decyzja ta jest opóźniona.

Analogicznie w chwili pojawienia się obiektu w punkcie załadunkowym należy podjąć decyzję o załadunku. Jednakże jeżeli na pierwszej pozycji każdej nitki znajduje się obiekt, to decyzja ta jest opóźniona.

Realizacje decyzji o wyładunku i załadunku przebiegają równocześnie. Z chwilą podjęcia decyzji o wyładunku obiekty w nitce są przesuwane o jedną pozycję w przód. W międzyczasie można podjąć decyzję o załadunku obiektu do tej nitki. Jednakże pozycja, do której dotrze obiekt, nie jest znana. Można jedynie symulować transport obiektów.

Po decyzji o wyładunku, obiekty w wybranej nitce są przesuwane przez czas cyklu. Po decyzji o załadunku wybrany obiekt jest przesuwany do chwili osiągnięcia ostatniej wolnej pozycji. Jednakże po decyzji o załadunku może być wiele decyzji o wyładunku z tej samej nitki. Zatem symulacja transportu obiektu w nitce jest złożona.

Przyjmujemy, że w trakcie symulacji będzie naliczany czas procesu. Decyzję o załadunku można podjąć w chwili, gdy w punkcie załadunkowym znajduje się obiekt, a pierwsza pozycja nitki zwolni się. Analogicznie decyzję o wyładunku można podjąć w chwili, gdy punkt wyładunkowy zwalnia się, a na ostatniej pozycji nitki jest obiekt.

Proces powinien być symulowany do chwili wystąpienia zdarzenia istotnego. Zdarzeniem istotnym jest pojawienie się obiektu w punkcie załadunkowym lub wyładunkowym.

2. Model matematyczny nitkowego magazynu buforowego

Załóżmy, że dany jest magazyn buforowy typu nitkowego, składający się z M nitek. W każdej nitce znajduje się N pozycji. W magazynie są przechowywane obiekty W wersji. Obiekty te są przesuwane w nitkach z cyklem c. Czas transportu obiektu z punktu załadunkowego do nitki oraz z nitki do punktu wyładunkowego jest mniejszy niż c. Cykl transportera dostarczającego obiekty do magazynu oraz czasy taktu linii montażowej są większe niż c. Przy tych założeniach istotne znaczenie mają chwile zakończenia cykli magazynu.

Def.1. Chwila istotna T^k, $k = 0, \ldots, K$ jest chwilą zakończenia k-tego cyklu magazynu.

Tak więc

$$T^k = k \cdot c \tag{1}$$

Def.2. Stan magazynu w chwili T^k jest macierzą

$$X^k = \left[x^k_{m,n}\right] \quad \begin{array}{l} m = 1, \ldots, M \\ n = 1, \ldots, N \end{array} \tag{2}$$

Elementy tej macierzy określamy następująco

$$x^k_{m,n} = \begin{cases} w, & \text{jeśli po k-tym cyklu na n-tej pozycji,} \\ & \text{w m-tej nitce znajduje się obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{2a}$$

Def.3. Stan punktów załadunkowego i wyładunkowego jest wektorem

$$P^k = \left[p^k_l\right] \quad l = 1, 2 \tag{3}$$

Elementy tego wektora określamy następująco

$$p_1^k = \begin{cases} w, & \text{jeśli po k-tym cyklu w punkcie załadunkowym znajduje się obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{3a}$$

oraz

$$p_2^k = \begin{cases} w, & \text{jeśli po k-tym cyklu w punkcie wyładunkowym znajduje się obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{3b}$$

Stan początkowy magazynu jest macierzą X^0, a stan końcowy macierzą X^K. Stan początkowy jest zawsze dany (z identyfikacji lub ewidencji procesu). Stan końcowy nie jest dany, można jedynie postawić pewien warunek końcowy, który musi spełniać stan końcowy. Dla przykładu, w każdej nitce mogą być obiekty jednej wersji, tzn.

$$\forall_{1 \le m \le M} \ \exists_{n} \left[x^K_{m,n} = w\right] \rightarrow \left[\forall_{\nu \ne n} \left[x^K_{m,\nu} = w\right] \vee \left[x^K_{m,\nu} = 0\right]\right] \tag{4}$$

Przyjęcie określonego warunku końcowego ma na celu uzyskanie dobrych warunków początkowych sterowania montażem w następnym przedziale czasu.

Analogicznie stan początkowy P^0 jest zawsze dany, a stan końcowy P^K musi spełniać określony warunek, np.

$$p_1^K > 0 \tag{5a}$$

oraz

$$p_2^K = 0 \tag{5b}$$

Przyjęcie (5a) jest uzasadnione, bowiem linia transportowa może się poruszać do czasu dostarczenia obiektu do punktu załadunkowego. Z kolei warunek (5b) jest uzasadniony tym, że w każdym przedziale czasu należy montować określone obiekty. Zatem nie należy wcześniej przesyłać do punktu wyładunkowego obiektu, który nie powinien być montowany. Nawet w przypadku, gdy w punkcie wyładunkowym znajdzie się obiekt, który ma być montowany, to być może wybór innego obiektu dałby lepsze efekty montażu. Zatem lepiej sterować kolejnością montażu bez opóźnienia. Jeśli w punkcie wyładunkowym znajduje się obiekt, to sterowanie jest opóźnione o jeden takt montażu.

W odniesieniu do stanu X^k można przyjąć również warunki brzegowe.

- Prawostronny warunek brzegowy:

$$\forall_{0 \le k \le K} \ \exists_{m} \ x^k_{m,N} > 0 \tag{6a}$$

co oznacza, że po każdym cyklu istnieje nitka magazynu, w której na ostatniej pozycji znajduje się obiekt. W takim przypadku linia montażowa nie będzie oczekiwać na obiekty.

- Lewostronny warunek brzegowy:

$$\forall_{0 \le k \le K} \; \exists_{m} \; x^{k}_{m,1} = 0 \tag{6b}$$

Zatem po każdym cyklu istnieje nitka, w której pierwsza pozycja jest wolna. W takim przypadku obiekt w punkcie załadunkowym nie będzie oczekiwał na załadunek.

Warunek brzegowy w odniesienu do p^{k}_{1} może być związany z równomiernością lub wersjami obiektów dostarczanymi przez transporter. Warunek brzegowy dla p^{k}_{2} może być związany z równomiernością poboru obiektów przez linię montażową. Przy dużych różnicach równomierności dopływu i odpływu obiektów magazyn może być opróżniony lub zapełniony. W takich przypadkach dotrzymanie warunków (6) nie jest możliwe.

W dalszym ciągu wyróżnimy:

c_{t} - cykl linii transportowej,

c - cykl nitki magazynu buforowego,

c_{m} - czas taktu linii montażowej.

Czas taktu linii montażowej zmienia się (przy założeniu sterowania dynamicznego). Jednakże założymy, że po każdym cyklu k magazynu buforowego, w którym z punktu wyładunkowego pobrano obiekt, można określić czas taktu linii montażowej.

Załóżmy, że czas taktu linii montażowej spełnia warunek

$$c < c_{m} \tag{6c}$$

Oznacza to, że jeżeli w chwili $t = 0$ rozpoczyna się montaż, a punkt wyładunkowy jest pusty, to przed zakończeniem montażu w pierwszym takcie w punkcie wyładunkowym magazynu pojawi się obiekt. Obiekt ten znajdzie się na linii montażowej w drugim takcie itd.. Pobór obiektu z punktu wyładunkowego następuje w nie znanych z góry chwilach, lecz przypada to na pewne cykle magazynu. Zatem jeżeli po k-1-szym cyklu w punkcie wyładunkowym był obiekt, to obiekt ten może być przesunięty (lub nie) do linii montażowej w k-tym cyklu magazynu. Z punktu widzenia sterowania magazynem można przyjąć, że chwile i wersje poboru obiektów do linii montażowej są losowe. Przy spełnieniu warunku (6a) można założyć, że linia wymusza obiekt określonej wersji w losowym cyklu magazynu.

Oznaczmy przez c^{l}_{m}, $(l = 1, \ldots, L)$ czas l-tego taktu montażu. Czas ten można wygenerować losowo lub wyznaczyć na podstawie znanego sterowania montażem - co zostało pokazane w punkcie 4. Zatem można przyjąć, że dane będą chwile zakończenia montażu kolejnych obiektów na linii. Chwile te są elementami wektora

$$\Psi = \left[\psi_l \right] \quad l = 1, \ldots, L \tag{7}$$

Przyjmujemy, że jeżeli spełniony jest warunek (6a), to można wyznaczyć ψ_l ze wzoru

$$\psi_l = \sum_{\lambda=1}^{\lambda=l} C_m^{\lambda} \tag{7a}$$

gdzie: C_m^{λ} - czas λ-go taktu montażu.

Jeżeli kryterium oceny sterowania magazynem jest maksymalizacja wydajności linii, to należałoby symulować proces montażu przy wyprowadzaniu określonego obiektu z magazynu. Zatem magazyn wprowadza ograniczenia dla problemu kolejnościowego montażu wielowersyjnego. Startując ze stanu X^0 i P^0 oraz stanu początkowego linii montażowej, można podawać do linii dostępne w magazynie obiekty, stosując odpowiednie sterowanie. Efektem tego sterowania będzie liczba obiektów zmontowanych na linii w rozpatrywanym przedziale czasu (zmianie roboczej).

Def. 4. Sterowanie magazynem w k-tym cyklu jest wektorem

$$U^k = \left[u_l^k \right] \quad l = 1, 2 \tag{8}$$

Elementy tego wektora określamy następująco

$$u_1^k = \begin{cases} \mu, & \text{jeśli w k-tym cyklu należy załadować obiekt do } \mu\text{-tej nitki} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{8a}$$

oraz

$$u_2^k = \begin{cases} m, & \text{jeśli w k-tym cyklu należy wyładować obiekt z m-tej nitki} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{8b}$$

Sterowanie dopuszczalne musi spełniać następujące warunki:

- załadunek

$$\left[p_1^{k-1} = 0 \right] \rightarrow \left[u_1^k = 0 \right] \tag{9a}$$

oraz

$$\underset{\mu}{\exists} \left[\left[p_1^{k-1} > 0 \right] \wedge \left[x_{\mu,1}^{k-1} = 0 \right] \right] \rightarrow \left[u_1^k = \mu \right] \tag{9b}$$

- wyładunek

$$\left[p_2^{k-1} > 0\right] \to \left[u_2^k = 0\right] \tag{10a}$$

oraz

$$\underset{m}{\exists} \left[\left[p_2^{k-1} = 0\right] \wedge \left[x_{m,N}^{k-1} > 0\right]\right] \to \left[u_2^k = m\right] \tag{10b}$$

Zatem zbiór sterowań dopuszczalnych w każdym cyklu k jest zależny od stanów X^{k-1} i P^{k-1}.

Wejście magazynu buforowego jest strumieniem obiektów, które pojawiają się w kolejnych cyklach k w punkcie załadunkowym. W ogólnym przypadku wejście jest macierzą określającą wersje kolejnych obiektów oraz chwile ich dostępności' w punkcie załadunkowym. W rozważanym przypadku przyjmujemy, że spełniony jest lewostronny warunek brzegowy (6b). Zatem obiekt nie oczekuje w punkcie załadunkowym. W ten sposób inne obiekty nie są zatrzymywane na linii transportowej. W konsekwencji terminy dostępności tych obiektów nie ulegają zmianie.

W rzeczywistości obiekt w punkcie załadunkowym może oczekiwać w trakcie k-tego cyklu magazynu, jeżeli pojawi się w chwili t spełniającej warunek

$$T^{k-1} < t < T^k \tag{11}$$

W chwili T^k oczekujący obiekt zostanie załadowany do wybranej nitki magazynu. Przyjmujemy, że oczekiwanie obiektu w punkcie załadunkowym przez czas c przy cyklu transportera c_t, $(c < c_t)$, nie powoduje modyfikacji czasów dostępu pozostałych obiektów z linii transportowej.

Def.5. Wejściem magazynu buforowego jest wektor

$$S = \left[s^k\right] \quad k = 1, \ldots, K \tag{12}$$

Elementy tego wektora są określone następująco:

$$s^k = \begin{cases} w, & \text{jeśli w trakcie k-tego cyklu przed punktem załadunkowym znajduje się obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{12a}$$

Obiekt ten powinien zostać wprowadzony do punktu załadunkowego w następnym cyklu.

Zatem

$$\left[\left[s^{k-1} = w\right] \wedge \left[p_1^{k-1} = 0\right]\right] \to \left[p_1^k = w\right] \tag{13}$$

W analogiczny sposób można opisać wyjście z magazynu. Istotne znaczenie mają takty, w których z punktu wyładunkowego obiekty są pobierane do linii montażowej.

Def. 6. Wyjściem magazynu buforowego jest wektor

$$Y = \left[y^k \right] \quad k = 1, \ldots, K \tag{14}$$

Elementy tego wektora określamy następująco

$$y^k = \begin{cases} w, & \text{jeśli w k-tym cyklu pobrano do montażu obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym.} \end{cases} \tag{14a}$$

Zatem

$$\left[\left(p_z^{k-1} = w \right) \wedge \left(p_z^k = 0 \right) \right] \rightarrow \left(y^k = w \right) \tag{15}$$

Sterowanie wyładunkiem musi spełniać warunki (10).

3. Równania stanu procesu magazynowania

Załóżmy, że dane są stany: X^{k-1} i P^{k-1} dla $k = 1, \ldots, K$ oraz wejście S. Należy wyznaczyć sterowanie U^k.

Zależnie od sterowania U^k będziemy uzyskiwali określone wyjście Y. Cykl, w którym obiekt jest pobierany do montażu, jest zależny od sekwencji poprzednich obiektów i sterowania montażem.

- Równania stanu punktu wyładunkowego

Jeżeli

$$p_z^{k-1} = 0 \tag{16}$$

to w k-tym cyklu z magazynu jest wyprowadzany obiekt, tzn.

$$u_z^k > 0 \tag{17}$$

Ponadto

$$u_z^k \in \beta^k \tag{18}$$

gdzie: β^k - zbiór sterowań dopuszczalnych dla wyładunku w k-tym cyklu.

Zbiór β^k jest określony następująco

$$\beta^k = \left\{ m : \; x_{m,N}^{k-1} > 0 \right\} \tag{19}$$

Załóżmy, że wybór sterowania u_z^k powinien maksymalizować liczbę obiektów zmontowanych w przedziale czasu $\left[0, T^k\right]$. W praktyce stosuje się reguły heurystyczne, które nie dają gwarancji optymalnego rozwiązania problemu. Zatem

$$p_2^k = \begin{cases} x_{m,N}^{k-1}, & \text{jeśli } \left[p_2^{k-1} = 0\right] \wedge \left[u_2^k = m\right] \wedge \left[m \in \beta^k\right] \\ p_2^{k-1}, & \text{jeśli } \left[p_2^{k-1} > 0\right] \wedge \left\{ \forall_{1 \le l \le L} \left[\psi_l \le T^{k-1}\right] \vee \left[\psi_l > T^k\right] \right\} \\ 0, & \text{jeśli } \left[p_2^{k-1} > 0\right] \wedge \left\{ \exists_{1 \le l \le L} \left[T^{k-1} < \psi_l \le T^k\right] \right\} \end{cases} \tag{20}$$

Jeżeli na zakończenie k-1-go cyklu w punkcie wyładunkowym znajduje się obiekt, to w k-tym cyklu nie można do tego punktu przesłać obiektu z nitki magazynu. Obiekt ten dotarłby do punktu wyładunkowego przed zakończeniem k-tego cyklu. Wprawdzie w k-tym cyklu obiekt może być pobrany do montażu, jednakże gdyby chwila pobrania takiego obiektu była późniejsza niż chwila dotarcia do punktu wyładunkowego obiektu z magazynu - to nastąpiłaby kolizja. Aby wykluczyć kolizje, przyjmuje się równanie stanu punktu wyładunkowego (20).

Wyjście w k-tym cyklu wyznaczamy z formuły

$$y^k = \begin{cases} p_2^{k-1}, & \text{jeśli } \left[p_2^{k-1} > 0\right] \wedge \left[p_2^k = 0\right] \\ 0, & \text{jeśli } p_2^k > 0 \end{cases} \tag{21}$$

- Równanie stanu punktu załadunkowego

Jeżeli

$$p_1^{k-1} = 0 \tag{22}$$

to

$$p_1^k = s^{k-1} \tag{23}$$

Natomiast w przypadku, gdy

$$p_1^{k-1} > 0 \tag{24}$$

to w k-tym cyklu obiekt jest załadowany do odpowiedniej nitki magazynu, tzn.

$$u_1^k > 0 \tag{25}$$

Ponadto

$$u_1^k \in \alpha^k \tag{26}$$

gdzie: α^k - zbiór sterowań dopuszczalnych dla załadunku w k-tym cyklu

Zbiór α^k jest określony następująco

$$\alpha^k = \left\{ \mu : \; x_{\mu,1}^{k-1} = 0 \right\} \tag{27}$$

Wybór sterowania u^k powinien maksymalizować liczbę obiektów zmontowanych w przedziale czasu $\left[0, T^k\right]$. Ponieważ jednak trudno jest sformułować związek pomiędzy u_i^k i liczbą zmontowanych obiektów, w praktyce stosuje się reguły heurystyczne. Reguły heurystyczne nie dają gwarancji optymalnego rozwiązania problemu.

Równanie stanu punktu załadunkowego ma postać:

$$p_i^k = \begin{cases} s^k & , \text{ jeśli } p_i^{k-1} = 0 \\ 0 & , \text{ jeśli } \left[p_i^{k-1} > 0\right] \wedge \left[\underset{\mu}{\exists}\, x_{\mu,1}^{k-1} = 0\right] \\ p_i^{k-1} & , \text{ jeśli } \left[p_i^{k-1} > 0\right] \wedge \left[\underset{1 \le \mu \le M}{\forall} x_{\mu,1}^{k-1} > 0\right] \end{cases} \tag{28}$$

Jeżeli respektowany jest warunek (6b), to przypadek

$$p_i^k = p_i^{k-1} \tag{29}$$

nie zachodzi.

- Równania nitek magazynu

W procesie magazynowania przyjmujemy, że w k-tym cyklu obiekt może być załadowany na pierwszą pozycję μ-tej nitki (jeżeli była wolna) oraz inny obiekt może być wyładowany z ostatniej pozycji m-tej nitki (jeśli nie była pusta). Na zakończenie k-tego cyklu obiekty są przesuwane na kolejne wolne pozycje nitki.

Zakładamy, że w pierwszej fazie nastąpi załadunek i wyładunek, a w drugiej fazie - transport obiektów w nitkach. Stan magazynu po pierwszej fazie oznaczamy przez X. (bez górnego indeksu).

Zatem

$$x_{i,j} = \begin{cases} 0 & , \text{ jeśli } \left[i = m\right] \$\mathrm{H} \left[j = N\right] \wedge \left[u_2^k = m\right] \\ p_i^{k-1} & , \text{ jeśli } \left[i = \mu\right] \wedge \left[j = 1\right] \wedge \left[u_i^k = \mu\right] \\ x_{i,j}^{k-1} & , \text{ jeśli } \Big[\left[i \neq \mu\right] \vee \left[i = \mu\right] \wedge \left[j > 1\right]\Big] \vee \\ & \qquad \vee \Big[\left[i \neq m\right] \vee \left[i = m\right] \wedge \left[j < N\right]\Big] \end{cases} \tag{30}$$

Stan magazynu po drugiej fazie przyjmuje postać

$$x_{i,j}^k = \begin{cases} x_{i,j} & , \text{ jeśli } \underset{j<r\le N}{\forall} X_{i,r} > 0 \\ x_{i,j-1} & , \text{ jeśli } \underset{j<r\le N}{\exists} \left[x_{i,r} = 0\right] \wedge \left[j > 1\right] \\ 0 & , \text{ jeśli } \underset{j\le r\le N}{\exists} \left[x_{i,r} = 0\right] \wedge \left[j = 1\right] \end{cases} \tag{31}$$

Ponieważ obiekt z j-tej pozycji zostanie przesunięty, jeśli r-ta pozycja w tej samej nitce była pusta, (r > j). W ten sposób można symulować przepływ obiektów przez magazyn buforowy w kolejnych cyklach od k = 1 do k = K.

Efekt sterowania może być oceniany na podstawie liczby obiektów zmontowanych w czasie $\left[0,\ T^K\right]$.

Zatem

$$Q = \sum_{k=1}^{k=K} q^k \tag{32}$$

przy czym ,

$$q^k = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } y^k > 0 \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{33}$$

Kryterium to jest uwarunkowane nie tylko sposobem sterowania magazynem, lecz również sterowaniem linią montażową.

Ponieważ czasochłonność montażu obiektów różnych wersji jest różna, stąd suma (32) powinna być ważona

4. Równanie stanu linii montażowej

Załóżmy, że linia montażowa składa się z R robotów przemysłowych. Na linii montowanych jest W wersji obiektów. Oznaczmy przez $\vartheta_{r,m}$, (r = 1, ...,R oraz w = 1, ..., W), czas montażu obiektu w-tej wersji przez r-tego robota. Czasy te są dane.

Def.7. Stan linii montażowej jest wektorem

$$Z^l = \left[Z_r^l \right] \quad r = 1,\dots,R \tag{34}$$

Elementy tego wektora określamy następująco

$$Z_r^l = \begin{cases} w, & \text{jeśli w l-tym takcie r-ty robot montował obiekt w-tej wersji} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{34a}$$

Czas l-tego taktu montażowego wyznaczamy ze wzoru

$$C_m^l = \max_{1 \le r \le R} \{ \vartheta_{r,Z_r^l} \} \tag{35}$$

przyjmując, że

jeśli r-ty robot nie montuje obiektu w l-tym takcie.

Równanie stanu linii montażowej zapiszemy w postaci

$$Z_r^l = Z_{r-1}^{l-1} \qquad r = 2, \ldots, R \tag{36}$$

oraz

$$Z_1^l = p_2^k \tag{37}$$

jeśli

$$T^{k-1} < \psi^{l-1} \le T^k \tag{38}$$

przyjmując $\psi^0 = 0$.

Warto zauważyć, że w ten sposób, jeśli w chwili ψ^{l-1} w punkcie wyładunkowym magazynu nie będzie obiektu, to w trakcie montażu pewna pozycja na linii będzie pusta. Powoduje to określone efekty montażu.

Czas montażu obiektu w-tej wersji na linii jest sumą

$$\theta_v = \sum_{r=1}^{r=R} \theta_{r,v} \tag{39}$$

Zatem wprowadzając ważone kryterium sterowania zamiast (33) przyjmujemy

$$q^k = \begin{cases} \theta_v, & \text{jeśli } y^k = v \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{40}$$

W ten sposób pusta pozycja na linii powoduje stratę.

Przyjmując, że w trakcie montażu na linii nie może być pustych pozycji, trzeba zmodyfikować zależność (37).

Jeśli

$$\left[p_2^k = 0\right] \wedge \left[T^{k-1} < \psi^{l-1} \le T^k\right] \tag{41}$$

to zgodnie z (20) w k+1-szym cyklu magazynu może być wprowadzony obiekt. Zatem linia musi oczekiwać do chwili T^{k+1}. Jeśli w k+1-szym cyklu obiekt nie zostanie wyprowadzony z magazynu (ponieważ na ostatniej pozycji każdej nitki nie było obiektu - lub w oczekiwaniu na obiekt z dalszej pozycji), to linia musi oczekiwać jeszcze dłużej.

5. Uwagi końcowe

Przedstawione w referacie równanie stanu opisujące przepływ obiektów przez magazyn buforowy typu nitkowego oraz ich montaż na zrobotyzowanej linii są podstawą programu symulacyjnego. Celem symulacji jest weryfikacia algorytmów sterowania.

Symulator magazynu buforowego typu nitkowego i linii montażowej pozwala analizować różne strategie postępowania, np. montaż z pustymi pozycjami, zatrzymanie linii (wymuszone lub celowe), itp.

W analogiczny sposób można wyprowadzić równania stanu dla systemów z magazynami typu karuzelowego oraz wysokościowego.

LITERATURA

[1]. Assembly Automation: Preceedings of the 7th International Conference, Zurich 1986.

[2]. Kowalowski H i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych, WNT, Warszawa 1987.

[3]. Marecki F.: Modele matematyczne i algorytmy alokacji operacji i zasobów na linii montażowej, ZN Pol.Śl., Automatyka, z.82, Gliwice 1986.

[4]. Marecki F.: Sterowanie elastycznym systemem produkcyjnym, ZN Pol.Śl., Automatyka-z. 96, Gliwice 1988,ss.83-96

[5]. Marecki F.: Operatywne sterowanie systemem szeregowych magazynów buforowych, ZN Pol.Śl., Automatyka, z.85, Gliwice 1986, ss.139-154

Recenzent: Doc. dr hab. inż. K. Wala.

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

SIMULATION MODEL OF THREAD BUFFOR STORE AND ASSEMBLY LINE

S u m m a r y

In the paper simulation model of automatical thread buffor store and assembly line is presented. The model is based on state equations.

СИММУЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БУФОРНОГО СКЛАДА И СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

Р е з ю м е

В работе представлена симмуляционная модель буфорного склада и сборочной линии. Модель опираеться на уравнениях состояния.