ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI SLASKIEJ 1992
Seria: AUTOMATYKA z. 110 Nr kol. 1176

Franciszek Marecki
Politechnika Śląska

MODELOWANIE SYSTEMU PRODUKCJI ELEMENTÓW KAROSERYJNYCH

MODELLING OF CAR-BODY ELEMENT PRODUCTION SYSTEM

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ЭЛЕМЕНТЫ КУЗОВА

Streszczenie: W referacie przedstawiono model matematyczny systemu produkcji elementów karoseryjnych. Model ten ma postać logicznych równań stanu. Przedstawiono również heurystyczne reguły sterowania.

Summary: In the paper mathematical model of car-body element production system is presented. The model has a form of state equations. Heuristic rules are also described.

Резюме: В статье дана математическая модель системы производящей элементы кузова, в виде логических уравнений состояния. Представлены также эвристические правила управления.

1. Wstep

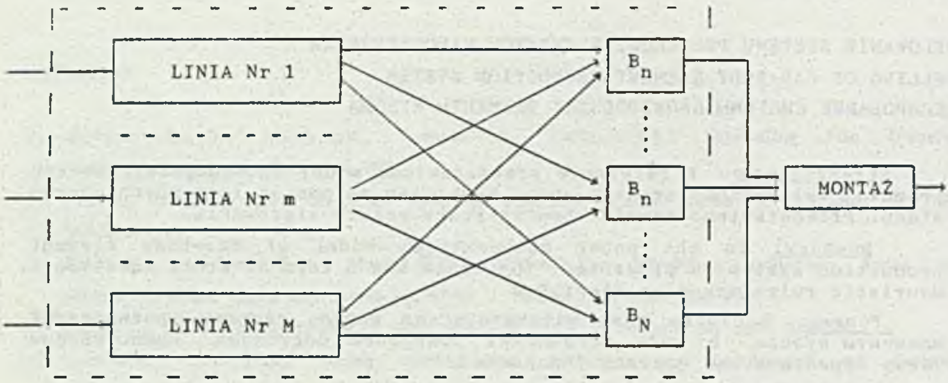
W problematyce sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi można wyróżnić: harmonogramowanie (alokacja zadań i zasobów) oraz sterowanie operatywne [2]. W przypadku zakłóceń procesu sterowanie ma charakter operatywny. Decyzje są oparte na regułach heurystycznych. Efektywność tych reguł mozna zweryfikować poprzez modelowanie i symulację procesu [3, 4, 5].

W referacie przedstawiono model matematyczny systemu produkcji elementów karoseryjnych - w postaci równań stanu.

2. Sformułowanie problemu

System produkcji elementów karoseryjnych składa się z linii pras oraz magazynów buforowych (rys.1). Elementy karoseryjne są produkowane na liniach pras matrycowych. Każda linia składa się z kilku pras. Pomiędzy prasami w linii nie ma magazynów buforowych. W trakcie produkcji elementy karoseryjne przechodzą przez kolejne prasy bez oczekiwania. W celu produkcji elementów określonego typu, na każdej prasie wybranej linii muszą być załozone odpowiednie tłoczniki (matryce i stempel). Przy zmianie typu produkowanych elementów każda prasa wybranej linii musi być przezbrojona, tzn. muszą być wymienione tłoczniki. W trakcie przezbrojenia pras linia jest nieczynna. Przestój linii zmniejsza wydajność systemu.

Proces produkcji elementów karoseryjnych polega na wykonaniu kolejnych operacji tłoczenia na kolejnych prasach linii. Arkusz blachy jest podawany do kolejnych pras - bez magazynowania miedzy prasami. Znany jest czas, po ktorym z linii schodzą kolejne elementy tego samego typu. Jest to czas najdłuzszej operacji wykonywanej na jednej z pras. Zatem znana jest wydajność linii dla kazdego typu elementów karoseryjnych. Wydajność ta jest określona liczbą elementow wyprodukowanych w danym okresie czasu, np. zmianie roboczej. Znany jest również czas przezbrojenia linii.



Rys.1. System produkcji elementów karoseryjnych
(M-liczba linii pras, N-liczba typów elementów karoseryjnych
(N>M), B_n - magazyn buforowy elementów m-tego typu
Fig.1. Car-body elements production system

W ogólnym przypadku elementy określonego typu można produkować na różnych liniach - jednakże nie na każdej linii (liczba linii M jest mniejsza niż liczba typów elementów karoseryjnych N). Ponadto ten sam typ elementów może być produkowany na kilku liniach równocześnie - zależnie od liczby kompletów odpowiednich tłoczników. Do przezbrajania linii potrzebne są suwnice oraz brygady specjalistyczne. Z tego względu liczba linii, które mogą być przezbrajane równocześnie - jest ograniczona.

Elementy karoseryjne otrzymywane z linii są lokowane w magazynie buforowym przed wydziałem montażu karoserii. W magazynie tym elementy różnych typów są przechowywane w różnych kontenerach. Z tego względu formalnie można przyjąć, że danych jest N magazynów. Pojemności tych magazynów są określone liczbami kontenerów. Również wydajność linii można określić w liczbie kontenerów - z elementami określonego typu.

W celu rozpoczęcia montażu karoserii w danym okresie (np. zmianie roboczej), w magazynie musi być komplet elementów wszystkich typów. Jeśli nie ma kompletu elementów, to występuje przestój montażu.

Problem sterowania produkcją elementów karoseryjnych polega na minimalizacji przestojów montażu. Zatem należy podejmować najlepsze decyzje o produkcji elementów na liniach pras.

W zależności od stanu zapasów w magazynie można na wybranej linii:
- kontynuować produkcję aktualnego elementu,
- zatrzymać produkcję aktualnego elementu,
- zainstalować tłoczniki dla produkcji innego elementu.

Oceną sterowania w K okresach jest czas przestoju montażu oraz stan zapasów elementów w magazynie buforowym po K-tym okresie.

3. Model matematyczny

Załóżmy, że tłocznia elementów karoseryjnych składa się z M linii pras. Na liniach tych jest produkowanych N typów elementów, przy czym

$$M < N \tag{1}$$

Zatem na jednej linii musi być produkowanych wiele typów elementów.

Alternatywne przyporządkowanie typów elementów do linii pras jest określone macierzą:

$$A = [\, a_{m,n} \,] \quad m=1,\dots,M \quad n=1,\dots,N \tag{2}$$

gdzie:

$$a_{m,n} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli na m-tej linii może być produkowany element n-tego typu,} \\ 0, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{2a}$$

Wydajność linii dla różnych typów elementów określa wektor:

$$W = [\, w_n \,] \quad n=1,\dots,N \tag{3}$$

gdzie: w_n - wydajność linii dla elementu n-tego typu.

Pojemności magazynów buforowych określa wektor:

$$B = [\, b_n \,] \quad n=1,\dots,N \tag{4}$$

gdzie: b_n - pojemność magazynu buforowego elementów n-tego typu.

Oznaczmy przez k, (k=1,...,K) k-ty okres produkcji elementów karoseryjnych.

Załóżmy, że zapotrzebowanie montażu na elementy karoseryjne określa macierz:

$$S = [\, s_{m,n} \,] \quad n=1,\dots,N \quad k=1,\dots,K \tag{5}$$

gdzie: $s_{m,n}$ - zapotrzebowanie na elementy n-tego typu w k-tym okresie.

Załóżmy, że dostępną liczbę brygad (lub suwnic) przezbrajających linie pras określa wektor:

$$P = [\, p_k \,] \quad k=1,\dots,K \tag{6}$$

gdzie: p_k - liczba dostępnych brygad w k-tym okresie.

Analogicznie określimy dostępną liczbę kompletów tłoczników:

$$D = [\, d_{n,k} \,] \quad n=1,\dots,N \quad k=1,\dots,K \tag{7}$$

gdzie: $d_{n,k}$ - liczba dostępnych kompletów tłoczników dla n-tego elementu w k-tym okresie.

W trakcie produkcji system znajduje się w różnych stanach.

Definicja 1. Stan linii pras po k-tym okresie jest wektorem:

$$X^k = [\, x_m^k \,] \quad m=1,\dots,M \tag{8}$$

Elementy tego wektora określamy następująco:

$$x_m^k = \begin{cases} n, & \text{jeśli w k-tym okresie na m-tej linii były instalowane tłoczniki dla n-tego elementu,} \\ 0, & \text{jeśli w k-tym okresie na m-tej linii były instalowane tłoczniki dla } \nu\text{-tego elementu.} \end{cases} \tag{8a}$$

Zatem X^0 jest danym stanem początkowym, natomiast stan końcowy X^k nie jest znany.

Przyjmiemy, że jeżeli w k-1-szym okresie na m-tej linii były instalowane tłoczniki dla ν-tego elementu, to w k-tym okresie tłoczniki nie mogą być zmieniane, tzn.

$$\exists_{m} \; (X_m^{k-1} = -\nu) \Rightarrow (X_m^k = \nu) \qquad (9)$$

Ponadto każdy stan X^k musi spełniać następujące ograniczenia:

- dostępności brygad przezbrajających linie

$$| \alpha^k | \le p^k \qquad (10)$$

zbiór α^k określamy jako

$$\alpha^k = \{ m: x_m^k < 0 \} \qquad (11)$$

- dostępności tłoczników

$$| \beta_n^k | \le d_{n,k} \qquad (12)$$

zbiór β_n^k określamy jako

$$\beta_n^k = \{ m: (x_m^k = n) \vee (x_m^k = -n) \} \qquad (13)$$

Na stan końcowy może być nałożony warunek końcowy, np.

$$\forall_{1 \le m \le M} \; x_m^K > 0 \qquad (14)$$

Definicja 2. Stan zapasów elementów w magazynie po k-tym okresie jest wektorem:

$$Z^k = [z_n^k] \quad n=1,\dots,N \qquad (15)$$

Elementy tego wektora określamy następująco:

Zatem stan Z^0 jest danym stanem początkowym, natomiast stan końcowy Z^k nie jest znany. Każdy stan Z^k musi spełniać następujące warunki:

- ograniczonej pojemności magazynu

$$\forall_{1 \le n \le N} \; z_n^k \le b_n \qquad (16)$$

- zapotrzebowania montażu

$$\forall_{1 \le n \le N} \; s_{n,k} \le z_n^{k-1} \qquad (17)$$

Jeżeli warunek (17) nie jest spełniony, to występuje przestój montażu. W trakcie przestoju w k-tym okresie linia montażowa nie pobiera elementów z magazynu.

Na stan końcowy może być nałożony warunek końcowy, np.:

$$\forall_{1 \le n \le N} \; c_n b_n \le z_n^k \le b_n \qquad (18)$$

przy czym

$$0 < c_n < 1 \qquad (18a)$$

Definicja 3. Sterowaniem w k-tym okresie jest wektor:

$$U^k = [u_m^k] \quad m=1,\dots,M \qquad (19)$$

Elementy tego wektora określamy następująco:

$$z_n^k = \begin{cases} n, & \text{jeśli w k-tym okresie na m-tej linii mają być produkowane elementy n-tego typu,} \\ 0, & \text{jeśli w k-tym okresie m-ta linia ma być zatrzymana,} \\ -\nu, & \text{jeśli w k-tym okresie na m-tej linii mają być instalowane tłoczniki dla elementów } \nu\text{-tego typu.} \end{cases} \quad (19a)$$

Dopuszczalne sterowanie musi spełniać następujące warunki:

- Produkcja nowego asortymentu:

$$\underset{1 \le m \le M}{\forall} \quad (x_m^{k-1} \le -\nu) \Rightarrow (u_m^k \le \nu) \quad (20)$$

- Zatrzymanie produkcji:

$$\underset{1 \le m \le M}{\forall} \quad [(x_m^{k-1} \le n) \wedge (z_n^{k-1} - s_{n,k} + \vartheta_n > b_n)] \Rightarrow (u_m^k \le 0) \quad (21)$$

Jezeli n-ty asortyment był produkowany na kilku liniach, to warunek (21) może nie być spełniony, a mimo to pewne linie muszą być zatrzymane, jeśli

$$z_n^{k-1} - s_{n,k} + r_n^k \omega_n > b_n \quad (22)$$

gdzie: r_n^k - liczba linii, na których był produkowany n-ty asortyment w k-tym okresie.

- Przezbrojenie linii

Analogicznie do (11) otrzymamy

$$\alpha^k = \{ m: u_m^k < 0 \} \quad (23)$$

Sterowanie dopuszczalne musi spełniać warunek (10).

- Dostępność tłoczników

Analogicznie do (13) otrzymamy:

$$\beta_n^k = \{ m: (u_m^k = n) \vee (u_m^k = -n) \vee (x_m^{k-1} = n) \wedge (u_m^k = 0)\} \quad (24)$$

Sterowanie dopuszczalne musi spełniać warunek (12).

3.1. Równania stanu

Załóżmy, że znane są stany: X^{k-1} oraz Z^{k-1}. Przyjmując dopuszczalne sterowanie U^k można wyznaczyć stany kolejnego etapu X^k oraz Z^k. Zatem wychodząc ze stanów początkowych X^0 oraz Z^0 można dojść do stanów końcowych X^K oraz Z^K.

Ciąg stanów:

$$X^0, X^1, \ldots, X^{k-1}, X^k, \ldots, X^K$$

oraz

$$Z^0, Z^1, \ldots, Z^{k-1}, Z^k, \ldots, Z^K$$

nazwiemy trajektorią.

Ciąg sterowań (decyzji)

$$U^1, U^{k-1}, \ldots, U^k, U^K$$

nazwiemy strategią.

Równania stanów mają postać

$$X^k = f_x(X^{k-1}, Z^{k-1}, U^k) \tag{25}$$

oraz

$$Z^k = f_x(X^{k-1}, Z^{k-1}, U^k) \tag{26}$$

przy danych warunkach początkowych: X^0, Z^0 oraz ograniczeniach zasobowych P i D. Równania stanów (25) i (26) pozwalają wygenerować odpowiednie trajektorie. Trajektorie powinny być dopuszczalne. W zbiorze trajektorii dopuszczalnych należy wyznaczyć trajektorie najlepsze w sensie określonych kryteriów.

Do oceny trajektorii przyjmiemy następujące kryteria:

- Przestoju linii montażu karoserii

$$Q = \sum_{k=1}^{k=K} q_0^k \tag{27}$$

przy czym

$$q_0^k = \begin{cases} 1, \text{ jeśli } \exists_n \; z_n^{k-1} < s_{n,k} \\ 0, \text{ w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{27a}$$

- Zapasów elementów karoseryjnych

$$Q_n = z_n^k \qquad n=1,\dots,N \tag{28}$$

Zatem w ogólnym przypadku problem sterowania systemem produkcji elementów karoseryjnych jest wielokryterialny. W szczególnym przypadku zamiast kryteriów (28) można wprowadzić ograniczenia (18).

Załóżmy, że dane są stany: X^{k-1} i Z^{k-1} oraz zapotrzebowanie $s_{n,k}$ na elementy karoseryjne. Przy dopuszczalnym sterowaniu U^k należy wyznaczyć stany X^k i Z^k. Współrzędne stanu X^k wyznaczamy z warunków:

I: $$\forall_m \; (u_m^k \le -n) \Rightarrow (x_m^k = -n) \tag{29}$$

II: $$\forall_m \; [(x_m^{k-1} = n) \wedge (u_m^k = 0)] \Rightarrow (x_m^k = n) \tag{30}$$

III: $$\forall_m \; [(x_m^{k-1} > 0) \wedge (u_m^k = -\nu)] \Rightarrow (x_m^k = -\nu) \tag{31}$$

4. Zakończenie

Rozwiązanie sformułowanego problemu w sposób optymalny (nawet w przypadku deterministycznym) jest w praktyce niemożliwe. Z tego względu zaproponowano modelowanie w postaci równań stanu. Przedstawiony model matematyczny jest podstawą programu symulacyjnego zamieszczonego w [1].

W przypadku probabilistycznym można łatwo uwzględnić w modelu: losowy pobór elementów karoseryjnych, losowe strumienie wejściowe oraz awarie agregatów.

Symulator produkcji elementów karoseryjnych pozwala na weryfikację heurystycznych reguł sterowania. W szczególności można określić efektywność heurystyk w różnych charakterystycznych stanach systemu.

LITERATURA

[1] Kamiński S.: Symulator sterowania procesem w systemie o strukturze antydrzewa, Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.

[2] Kowalowski H. i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych, WNT, Warszawa 1984.

[3] Marecki F.: Sterowanie operatywne systemem szeregowych magazynów buforowych, ZN Pol. Śl., Automatyka z 85, ss. 139-155.

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

[5] Marecki F.: Równania stanu linii technologicznej z robotami suwnicowymi, ZN Pol. Śl., Automatyka z 102, ss. 91-111, Gliwice 1990.

Recenzent: Doc.dr h.inz. Józef Matuszek

Wpłynęło do redakcji do 30.04.1992

Abstract: Production system of car-body elements consists of parallel technological lines and an assembly line. At the M parallel lines are produced N car-body elements (N >M). During a change of the element type a technological line is stopped. The assembly line needs a complete set of elements for car-body. Control of parallel production lines should support complete sets of elements for the assembly line - otherwise the assembly line is stopped.

To solve the control problem in the paper mathematical model of car-body element production system is presented. The model has a form of state equations.