ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: AUTOMATYKA z. 118 Nr kol. 1338

Piotr MARECKI
Akademia Górniczo-Hutnicza

MODELOWANIE PROCESU TŁOCZENIA BLACH KAROSERYJNYCH[1]

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję rozwiązywania problemu harmonogramowania procesu tłoczenia blach karoseryjnych. Zbudowano model systemu, na podstawie którego pokazano proste reguły heurystyczne. Sposób dalszego rozwiązywania problemu został zaznaczony.

MODELLING CAR-BODIES STAMPING PROCESS

Summary. In the paper approach to scheduling of car-bodies stamping process has been presented. Model of the stamping system has been constructed. Simple scheduling algorithms related to this system have been shown. Posibilities of future research have been pointed out.

1. Wstęp

Tłocznia blach karoseryjnych składa się z N identycznych, pracujących równolegle, linii pras służących do tłoczenia M typów elementów. Problem decyzyjny pojawia się, gdy M>N. Aby m-ty typ elementu mógł być produkowany na n-tej linii, musi na linii n-tej być zamontowany komplet tłoczników typu m. Liczba dostępnych kompletów tłoczników dla każdego typu elementu jest dana. Wydajność linii dla produkcji elementów jest dana. Aby zmienić produkcję n-tej linii należy wymienić komplet tłoczników. Operacja taka, nazywana dalej przezbrojeniem, trwa jeden takt czasu pracy tłoczni. Ponieważ liczba brygad przezbrajających w danym takcie jest z góry ograniczona, to w ciągu jednego taktu można dokonać przezbrojenia tylko pewnej liczby linii. Liczbę brygad w każdym takcie traktujemy jako daną. Wyprodukowane elementy są składowane w magazynie buforowym. Po każdym takcie tłoczni następuje pobór tłoczonych elementów przez montownię. Gdy zapasy w magazynach są wystarczające, montownia pracuje, w przeciwnym przypadku czeka do następnego taktu tłoczni. Pojemności magazynów są ograniczone. Montownia składa

[1] Praca była częściowo finansowana przez KBN, temat AGH w Krakowie nr 11.120.227.

zamówienia na komplety typów karoserii. Do produkcji każdego typu karoserii wymagany jest określony zbiór elementów wytwarzanych na tłoczni. Zbiór ten dla każdej karoserii jest dany i niezmienny w czasie. Aby montownia mogła rozpocząć pracę, musi mieć komplet elementów potrzebnych do produkcji. Gdy warunek ten nie jest spełniony, montownia czeka.

2. Model zagadnienia

Aby opisać powyższy proces, zdefiniujmy niezbędne wielkości.

Wykaz oznaczeń i indeksów:

$t = 1,\dots,T$ - indeks taktu czasu tłoczni,

$\tau = 1,\dots,\delta\tau$ - indeks zadań produkcyjnych montowni na takt tłoczni,

$m = 1,\dots,M$ - indeks typu elementów,

$n = 1,\dots,N$ - indeks linii pras,

$i = 1,\dots,I$ - indeks typu karoserii,

gdzie **T** to rozpatrywana liczba taktów czasu tłoczni - horyzont harmonogramowania, $\delta\tau$ - horyzont znanych zamówień montowni, **M** - liczba typów elementów, **N** liczba linii pras, a **I** - liczba typów karoserii.

Wykaz oznaczeń parametrów modelu:

w_{mn} - jednostkowa wydajność n-tej linii podczas produkcji elementów typu m,

v_m - pojemności magazynów buforowych,

k_{tm} - liczba dostępnych kompletów tłoczników typu m, w takcie t,

p_t - liczba brygad przezbrajających w takcie t,

c_{im} - liczba elementów typu m, w karoserii typu i.

2.1. Zadania produkcyjne

Bezpośrednim wymuszeniem - elementem kształtującym zadania produkcji na tłoczni są zamówienia montowni:

$\delta_{\tau i}$ - liczba kompletów elementów do karoserii typu i, w zadaniu τ

i stowarzyszona z nią $d_{\tau m}$ - liczba elementów typu m, w zadaniu τ :

$$d_{\tau m} = \sum_{i=1}^{I} \delta_{\tau i} \cdot c_{im}$$

Wymuszenie jest znane tylko dla pewnego horyzontu $\delta\tau$. Zależnie od $\delta\tau$ rozróżniamy generalnie dwa przypadki:

- deterministyczny, dla $\delta\tau \geq T$: harmonogramowanie dla znanych zamówień
- probabilistyczny, dla $\delta\tau < T$

Będziemy dalej rozpatrywać tylko zagadnienie deterministyczne. Ponieważ zamówienia montowni są dane dla kolejnych wartości parametru τ, który ze względu na możliwe przestoje nie jest związany z czasem t funkcją daną jawnie to powinniśmy pisać : $\tau = \tau(t)$. Aby jednak uniknąć tego typu nieścisłego zapisu definiujemy zadanie produkcyjne s na takt tłoczni t:

$$s_t \overset{def}{=} \tau(t)$$

Zauważmy, że jeżeli w takcie t montownia stała to $s_{t+1} = s_t$

2.2.Stan i sterowanie

Ze względu na konieczność opisu tak procesów w tłoczni, jak i związanych z nimi (lecz niezależnych) procesów zmian wykorzystania magazynów buforowych, definiujemy oddzielnie wektory stanu tłoczni i magazynów.

Def.(2.1) Stan systemu w takcie t opisujemy wektorami:

$$X_{tn} = \begin{cases} m & \text{- gdy na linii n były tłoczniki typu m} \\ -m & \text{- gdy na linii n tłoczniki typu m były zamontowywane} \\ 0 & \text{- gdy stan linii był nieokreślony (np. awaria)} \end{cases} \tag{2.1}$$

S_{tm} - zapasy elementów typu m po takcie t

oraz dodatkowo wektorem decyzyjnym:

$$U_{tn} = \begin{cases} 1 & \text{- jeżeli linia n w takcie t pracuje} \\ 0 & \text{- w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

Wtedy:

$$\begin{aligned} X_t &= (X_{t1}, X_{t2}, \ldots, X_{t,N-1}, X_{tN}) \\ S_t &= (S_{t1}, S_{t2}, \ldots, S_{t,M-1}, S_{tM}) \\ U_t &= (U_{t1}, U_{t2}, \ldots, U_{t,N-1}, U_{tN}) \end{aligned} \tag{2.2}$$

Przyjmujemy, że dla $\forall t \in \{1..T\}$ muszą być spełnione następujące ograniczenia:

$$\sum_{n:|X_{tn}|=m} 1 \leq k_{tm} \tag{2.3}$$

$$\sum_{n:X_{tn}<0} 1 \le p_t \tag{2.4}$$

$$S_{tm} \le v_m \tag{2.5}$$

Nierówność (2.3) nie pozwala przekroczyć ograniczonej liczby tłoczników dla elementu typu m, analogicznie (2.4) uwzględnia liczbę dostępnych brygad przezbrajających. Ograniczenie (2.5) zabezpiecza przed przepełnieniem magazynów buforowych.

Zakładamy dodatkowo następujące implikacje - reguły definiujące dopuszczalne zmiany stanów:

$$(X_{t-1,n} = -m) \Rightarrow (X_{tn} = m) \tag{2.6}$$

$$(X_{t-1,n} = 0) \Rightarrow [(X_{tn} = 0) \vee (X_{tn} = -m)] \tag{2.7}$$

$$(X_{t-1,n} = m) \Rightarrow [(X_{tn} = m) \vee (X_{tn} = -f)] \tag{2.8}$$

$$(U_{tn} = 1) \Rightarrow (X_{tn} > 0), \tag{2.10}$$

gdzie $f \ne m$. Warunek (2.6) to zabezpieczenie przed zmianą produkcji w kolejnych taktach, a warunki (2.6) i (2.7), to reguły dopuszczalnych zmian X, natomiast (2.10) nie pozwala na produkcję podczas przezbrojenia.

Zakładamy, że elementy produkowane w takcie t są dostępne do montażu dopiero w takcie t+1, czyli montownia będzie działać - pobierać elementy wtedy i tylko wtedy, gdy:

$$\forall m: S_{t-1,m} \ge d_{t,m} \tag{2.11}$$

Zgodnie z powyższym przyjęto następujące prawa zmiany stanów zapasów S_{tm}:

$$S_{tm} = \begin{cases} S_{t-1,m} - d_{t,m} + \sum_{n:X_{tn}=m} w_{nm} \cdot U_{tn} & \text{jeśli (2.11) prawdziwy} \\ S_{t-1,m} + \sum_{n:X_{tn}=m} w_{nm} \cdot U_{tn} & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{2.12}$$

Zgodnie z (2.11) możemy napisać prawo zmiany s:

$$s_{t+1} = \begin{cases} s_t + 1 & \text{jeśli (2.11) prawdziwy} \\ s_t & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{2.13}$$

Odnośnie do stanu systemu zakładamy dodatkowo:

1. Znane są warunki początkowe S_0, X_0
2. Dopuszczalne są następujące uproszczenia:
   - czas operacji transportowych jest pomijalny,
   - wydajność pracy krajalni blach jest dostatecznie duża, tj. wystarczająca, aby zabezpieczyć niezbędne ilości półproduktu dla każdego harmonogramu pracy tłoczni.

2.4.Funkcja celu

Głównym celem harmonogramowania jest minimalizacja łącznego czasu postoju montowni. Niech $d\tau$ oznacza łączny czas przestoju montowni, wtedy:

$$d\tau = t - s_t \tag{2.14}$$

Ponieważ dodatkowym celem powinno być wyprodukowanie jak największych zapasów gotowych elementów, to funkcja celu powinna mieć postać:

$$f(S, t, s_t, c_0, c_1, \ldots, c_m) = -c_0 \cdot d\tau + \sum_{m=1}^{M} c_i \cdot S_0 \rightarrow \max \tag{2.15}$$

interpretowana jako wynik finansowy, gdzie c_0 to koszt jednostkowy przestoju linii, a c_i (i=1,...,n), to wartość elementu typu i w magazynie. Parametry c traktujemy jako dane. Zauważamy, że "czyste" kryterium minimalizacji czasu przestoju montowni otrzymujemy dla $c_i = 0$.

3. Wyznaczanie sterowania

Wyznaczanie sterowania polega na określaniu składowych X_m, U_m - inaczej: na określaniu, co ma być produkowane w chwili t na linii n. Proces automatycznego podejmowania decyzji będzie procesem iteracyjnym więc należy się zastanowić nad kolejnością owych decyzji. Nietrudno widzieć, że powinna ona w sposób istotny wpływać na postać sterowania, co obrazuje następujący przykład:

Niech Ψ będzie zbiorem linii pras, co do których podjęto już decyzję, a Ω zbiorem wszystkich linii, wtedy

$$(\psi \in \Psi \wedge \varphi \in \Omega \setminus \Psi) \Rightarrow \left[(U_{t\psi}, X_{t\psi}) \xrightarrow{\text{wpływa na}} (U_{t\varphi}, X_{t\varphi}) \right]$$

Uzasadnienie: ponieważ proces podejmowania decyzji jest iteracyjny, więc przy podejmowaniu decyzji co do φ musimy się kierować aktualnymi wartościami lewych stron ograniczeń (2.3), (2.4) i (2.5) (bo (2.11) dla naszego taktu już rozstrzygnęło czy nastąpi pobór elementów), które zostały, oczywiście, zmienione przez $\psi \in \Psi$. Zdecydowaliśmy tu, trochę arbitralnie, że będziemy podejmować decyzje przydzielając liniom produkcyjnym typy elementów. Można, oczywiście, postępować inaczej - typom elementów przyporządkowywać linie, na których będą one produkowane (aż zabraknie linii). Takie podejmowanie decyzji jest również

poprawne i (najogólniej rzecz biorąc) absolutnie nierównoważne metodzie poprzedniej, będziemy się jednak trzymać pierwszego sposobu, gdyż system wykazuje takie właśnie zorientowanie w kierunku linii.

3.1. Sterowanie heurystyczne

Pokażemy, w jaki sposób można w naszym systemie budować proste reguły automatycznego sterowania - heurystyki. Schemat budowania dowolnej heurystyki będzie wyglądał następująco:

1. Zdefiniujmy wektor przydatności elementów do produkcji Γ:

   $(i \succ j) \Leftrightarrow (\gamma_i < \gamma_j)$, gdzie $\succ$ oznacza "bardziej przydatny niż"

2. Z uwagi na koszty przezbrojeń (1 takt) szukamy linii, na której jest już zainstalowany komplet tłoczników dla najbardziej przydatnego elementu. Gdy linii takiej nie można znaleźć, przezbrajamy linię, na której był produkowany najmniej przydatny element: niech $\tilde{m}$ będzie najbardziej przydatnym elementem

$$\forall m: \gamma_{\tilde{m}} \le \gamma_m, \tag{4.1}$$

oraz Ψ zbiorem linii, co do których podjęliśmy już decyzję, a Ω zbiorem wszystkich linii, wtedy $\tilde{m}$ powinien być produkowany na linii $\varphi \in \Omega \setminus \Psi$, jeśli:

$$\left(\left|X_{t-1,\varphi}\right| = \tilde{m}\right) \vee \left[\left(X_{t-1,\varphi} = \overline{m}\right) \wedge \left(\underset{m \in \Psi}{\forall}: \gamma_{\overline{m}} \ge \gamma_m\right)\right] \tag{4.2}$$

Jak widać, $\overline{m}$ to najmniej przydatny element. Oczywiście, nawet gdyby powyższe warunki były prawdziwe, to nie można przydzielić $\tilde{m}$ do linii φ, jeśli naruszałoby to ograniczenia dopuszczalności sterowań. Zatem cała reguła heurystyczna ma postać:

$$\left[(2.3) \wedge (2.4) \wedge (2.5) \wedge (2.6) \wedge (2.7) \wedge (2.8) \wedge (4.1) \wedge (4.2)\right] \Rightarrow \left|X_{t\varphi}\right| = \tilde{m} \tag{4.3}$$

a dokładniej

$$X_{tm} = \begin{cases} \tilde{m} : \left|X_{t-1,n}\right| = \tilde{m} \\ -\tilde{m} : \left|X_{t-1,n}\right| \ne \tilde{m} \end{cases} \tag{4.4}$$

$$\left(X_{t\varphi} = \tilde{m}\right) \Rightarrow \left(U_{t\varphi} = 1\right) \tag{4.5}$$

Po wygenerowaniu $U_{t\varphi}$ ponownie budujemy Γ, uwzględniając przy tym podjętą decyzję. Procedurę tę powtarzamy aż:

$$\forall n: n \in \Psi \Leftrightarrow \Psi = \Omega \tag{4.6}$$

lub aż żaden element $\tilde{m}$ nie może być produkowany, nawet gdy nie jest spełniony warunek (4.3), np. z powodu braku kompletu tłoczników.

Widzimy zatem, że zagadnienie budowy heurystyk sprowadza się do wyznaczenia wektora przydatności elementów.

3.2. Heurystyka zachłanna (greedy) i jej modyfikacje

Z punktu widzenia algorytmu wyznaczającego sterowanie najważniej-szym czynnikiem kształtującym jego decyzje są zamówienia montowni. Celem heurystyki zachłannej jest zaplanowanie takiej produkcji, aby zostało wykonane najbliższe zamówienie montowni. Zdefiniujmy wektor przydatności elementów Γ, dla heurystyki zachłannej jako:

$$(\gamma_i < \gamma_j) \Leftrightarrow \left[\frac{(d_{s,i} - S_{ii})}{w_i} > \frac{(d_{s,j} - S_{ij})}{w_j}\right], \tag{4.7}$$

gdzie w_i jest średnią wydajnością przy produkcji elementu typu i.

Definicja taka "promuje" te elementy, których:

- jest mało w stosunku do potrzeb $d_{s,}$,
- produkcja trwa stosunkowo długo (małe w_i).

Postępowanie takie generuje dopuszczalne i - z punktu widzenia celu heurystyki - uzasadnione sterowania . Wadą tej heurystyki jest jej "krótkowzroczność" - heurystyka wybiera najbardziej przydatne przedmioty, lecz tylko mając na uwadze zamówienia montowni na jeden takt. Aby przedłużyć nieco horyzont, na który heurystyka "widzi", można zmodyfikować wektor Γ wprowadzając pewne nierzeczywiste zamówienie $\Sigma = [\sigma_m]$ będące sumą zamówień montowni na h taktów na przód:

$$\sigma_m = \sum_{t=0}^{h} d_{s,t,m}, \tag{4.6}$$

gdzie **h** jest horyzontem heurystyki. Oczywiste jest, że $h \le \delta\tau$, gdzie $\delta\tau$ - to horyzont, do którego znamy zamówienia montowni. Tak zdefiniowane wirtualne zamówienie Σ podstawiamy do warunku na Γ zamiast **d** .

Heurystyki tego typu mają zalety i wady. Niewątpliwym plusem tego typu reguł jest dłuższy okres planowania - mniej przezbrojeń, a wadą postoje montowni wynikające z faktu, że realizowanie długoplanowych zadań może powodować postoje spowodowane brakami

elementów do aktualnego zamówienia. Działanie heurystyk tego typu ilustruje następujący przykład:

Element	w_i	S_s	$d_{s,i}$	$d_{s,+1,i}$	$d_{s,+2,i}$
1	2	20	10	5	10
2	1	20	5	10	30
3	1	15	5	5	20

Wyniki heurystyk

Heurystyka	$\tilde{m}$	$\bar{m}$
h=0 (greedy)	1	2
h=1	1	2,3
h=2	2	1

4. Wnioski

Sformułowanie schematu budowy heurystyk pozwala na stosunkowo łatwe budowanie nowych, bardziej wyrafinowanych heurystyk. Nasze podejście do problemu wyznaczania sterowań można, oczywiście, kontynuować, badając obszary, w których poszczególne heurystyki powinny być wykorzystywane. Okazuje się, że w takim przypadku można pokazać, że zbiór wszystkich stanów da się podzielić za pomocą wielowarstwowych nieliniowych sieci neuronowych na rozmyte podzbiory zastosowań poszczególnych heurystyk. Podejście takie, ukazane także w [1], [4] zdaje się wskazywać na nowe możliwości w dziedzinie automatycznego generowania sterowań.

LITERATURA

1. Błażewicz J., Ecker K., Schmidt G., Węglarz J.: Scheduling in Computer and Manufacturing Systems, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1994.
2. Kanal L., Kumar V. : Search in artifitial intelligence, Springer-Verlag, New York Inc 1988
3. Marecki P.: Wykorzystanie sieci neuronowych do sterowania tłocznią. Praca dyplomowa, Prywatna Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania, Bielsko-Biała 1995, s.34.
4. Marecki P.: Application of neuron nets in computer controlled systems. Proceedings of International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Zakopane 1996.

5. Jurczyk Z.: Optymalne harmonogramowanie procesu wytłaczania blach karoseryjnych , Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej,Automatyka , z.75, Gliwice 1984, ss. 35-43.

6. Marecki F.: Modelowanie systemu produkcji elementów karoseryjnych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka z.110, Gliwice 1992, ss. 77-93.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Kałuski, prof. Pol.Śl.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

In the paper the model of car-bodies stamping process was built. Many of real constranis are imposed to make the model as realistic as possible. The state of the system was defined as a set of two vectors for each moment of time - one for the state of production lines and one for the state of stores. Additionaly we defined steering vector which controls production on each line. The rules according to which the state of the system transforms form one moment of time to the another are written as implications which are easy to implement (as a computer program). Simple automatic control rules were also discussed. In section 3.1 the method of constructing heuristic are considered. Example of their use : greedy-like heuristics was widely discussed in section 3.2. At the end future way of research have been pointed out as neuron nets can be used to determine to which sets of states particular heuristic rules should be implied.