

Wiesław Pierzchała

Politechnika Krakowska

PRZYGOTOWAWCZE CZYNNOSCI TRANSPORTOWE W MACIERZOWYM MODELU ESP

Streszczenie. Zaproponowano taktykę rozpoczynania czynności w macierzowym modelu symulacyjnym ESP, umożliwiającą wcześniejszy dojazd wózka do miejsca spodziewanego zapotrzebowania na obsługę. Zamieszczony przykład dowodzi, że zastosowanie metody w istotnym stopniu poprawia współczynniki wykorzystania obrabiarek.

1. Wprowadzenie.

W ramach badań prowadzonych w Instytucie Technologii Maszyn Politechniki Krakowskiej dla Centralnego Programu Badań Podstawowych 02.04, przedstawiono koncepcję sterowania i nadzorowania ESP, opartą na przetwarzanym w czasie rzeczywistym, symulacyjnym modelu systemu. Dla zweryfikowania tej koncepcji opracowano oryginalny model macierzowy, odznaczający się prostotą oraz przejrzystością zapisu dla dowolnej struktury ESP i reguł jego działania. Model ten był prezentowany m.in. w pracach [1, 2, 4]. Najnowszą jego wersję, wraz z odpowiednim programem napisanym w języku C i uruchomionym na mikrokomputerze typu IBM PC, przedstawiono w pracy [3]. W pierwszej fazie budowy macierzowego modelu symulacyjnego należy wyodrębnić zbiór elementów funkcjonalnych modelowanego systemu oraz zbiór czynności elementarnych. Podział ten jest, oczywiście, arbitralny i zależy od celu eksperymentu symulacyjnego oraz szczególności rozpatrywanych tam zdarzeń.

Znamienną cechą modelu jest to, że na każdym etapie symulacji funkcjonowania systemu wskazuje wszystkie czynności, które można rozpocząć. Zasadniczą rolę w wyborze czynności możliwych odgrywa tzw. macierz stanu $[S_{jk}(i)]$. Wartość elementu $S_{jk}(i)$ tej macierzy podaje nadmiar elementów typu k , ponad tę ich liczbę, która jest niezbędna, aby na etapie i czynność j mogła być wykonana. Czynność j na etapie i można zatem rozpocząć wtedy, gdy wszystkie biorące w niej udział elementy są dostępne w wymaganej liczebności, co odpowiada nieujemnym wartościom wszystkich k elementów j -tego wiersza macierzy stanu $[S_{jk}(i)]$. Jest to warunek konieczny rozpoczęcia czynności. O tym, czy czynność ma być wykonana, która (jeśli kilka jest w danej chwili możliwych) i kiedy, decyduje przyjęta taktyka sterowania ESP.

2. Decyzje taktyczne

Skuteczna taktyka musi zapewnić efektywne podażenie systemu za wymaganiami strategicznymi, dotyczącymi m.in. programu produkcyjnego, terminów, kolejności spływu gotowych wyrobów itd. Ponadto musi chronić system przed zablokowaniem, możliwym w takiej sytuacji, gdy brak wolnego miejsca na złożenie przedmiotu przemieszczanego przez jedyny środek transportowy (np. nie należy pobierać kolejnego przedmiotu do obróbki, gdy wszystkie obrabiarki są zajęte).

Aby nie dopuścić do wykonania czynności możliwej, ale niepożądanej, wprowadzono do algorytmu symulacji prostą regułę taktyczną, powiązaną z odpowiednimi warunkami przyporządkowanymi niektórym czynnościom. Reguła ta nie pozwala na rozpoczęcie czynności, dla której nie są spełnione wszystkie przypisane jej warunki. Warunki taktyczne (przykłady podane w p.3.2.) mają postać równań lub nierówności, wiążących liczniki zakończonych czynności (n_j oznacza licznik przyporządkowany czynności j). Taktyka, w której wykorzystywane są tego typu warunki, została dokładnie opisana w pracy [5]. Istotne jest to, że odnosi się ona jedynie do czynności zakończonych i nie pozwala na uwzględnienie możliwych do przewidzenia zdarzeń. Mankament ten jest szczególnie widoczny w odniesieniu do czynności transportowych. Podsystem transportu, ze względu na swą służebną rolę, powinien możliwie sprawnie wypełniać stawiane mu zadania, szybko reagując na napływające zgłoszenia. W przeciwnym bowiem razie, poprzez wprowadzane opóźnienia, obniża wydajność systemu produkcyjnego. Jest to szczególnie istotne w rozległych systemach, gdy czas dojazdu wózka do odpowiedniego miejsca jest długi.

W celu poprawienia efektywności podsystemu transportu opracowano bardziej złożoną taktykę, umożliwiającą wcześniejszy dojazd wózka do miejsca sporządzanego zapotrzebowania na obsługę. Jej idea polega na tym, aby w momencie przewidywane terminy zakończenia czynności poprzedzających to zapotrzebowanie, wyznaczyć właściwy moment rozpoczęcia dojazdu wózka. Oczywiście, czynność dojazdowa musi być wcześniej dopuszczona do wykonania zarówno przez blokady w modelu (wózek wolny), jak i przez nierównościowe warunki taktyczne, umożliwiające uchwycenie właściwego momentu rozpoczęcia czynności przygotowawczej. Nie zawsze bowiem wykonanie tej czynności jest sensowne, np. wcześniej nie dostarczono palety, którą wózek miałby odebrać. Jeśli zatem na etapie i warunki te dla pewnej czynności p są spełnione, obliczany jest termin jej rozpoczęcia $T_{start_p}(i)$:

$$T_{start_p}(i) = \min_j (T_{end_j}(i) + c_1 * r_k + r_1 \pm C_1, T_{end_q}(i) + c_2 * r_r + r_s \pm C_2, \dots) \pm C_p \quad (1)$$

- $Tend_j(i)$ - przewidywany termin zakończenia czynności j na etapie i ;
- j, q - numery czynności w trakcie wykonywania na etapie i , poprzedzających czynność p ;
- k, l, r, s - numery czynności wykonywanych po czynnościach j i q , po których powstanie zapotrzebowanie na transport (np. czynność j - dostarczenie palety z półfabrykatami na stanowisko obróbkowe, czynność k - obróbka, czynność l - przygotowanie palety do transportu;
- τ_k - czas trwania czynności k ;
- c_1, c_2, \dots - stałe całkowite nieujemne (np. liczba przedmiotów na paletach);
- C, C_1, C_2 - stałe (czas w sekundach).

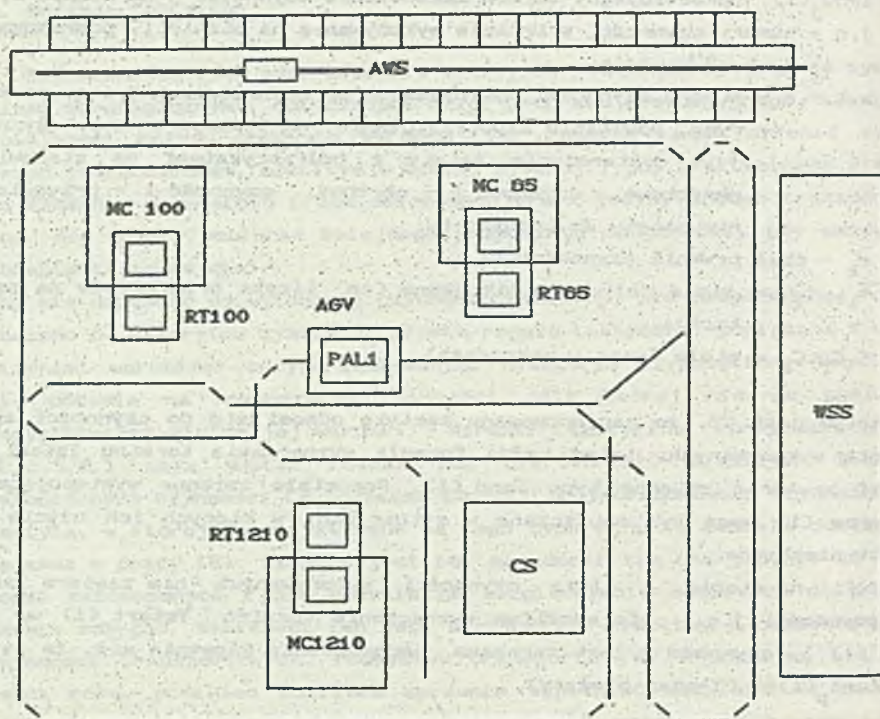
Istotne jest to, że zaproponowana taktyka odnosi się do czynności aktualnie wykonywanych, toteż każda formuła wyznaczania terminu $Tstart_p(i)$ musi zawierać zmienne typu $Tend_j(i)$. Pozostałe zmienne występujące we wzorze (1) mogą być opuszczane w sytuacjach, w których ich użycie nie jest niezbędne.

Jeżeli na etapie i lista czynności wykonywanych nie zawiera żadnej z czynności j, q, \dots (niemożliwe wyznaczenie terminu $Tstart_p(i)$ wg wzoru (1)), czynność p jest zakazana. Jednocześnie zapewnia się, że zawsze $Tstart_p(i) \geq T$ (T - czas bieżący).

3. Przykład

3.1. Opis modelowanego systemu

Aby zilustrować podaną metodę przejrzystym przykładem, zbudowano model symulacyjny ESP, oparty na uproszczonej strukturze systemu MAX firmy Makino (pojedyncze obrabiarki poszczególnych typów, jeden wózek transportujący palety). W systemie tym (rys.1), na trzech poziomych centrach obróbkowych (MC1210-A60, MC100-A60, MC65-A60) obrabia się 10 typów korpusów, zamocowanych na paletach PAL1÷10. Każdy z przedmiotów jest po obróbkę myty na stacji mycia (CSD). Mocowanie przedmiotów na paletach odbywa się na stacji załadowczo-rozładowczej (WSSD). Półfabrykaty i przedmioty gotowe są magazynowane w automatycznym magazynie (AWS). Wózek (AGV) przemieszcza palety pomiędzy stacją załadowczo-rozładowczą i stołami obrotowymi odpowiednich centrów obróbkowych (RT1210, RT100, RT65).



Rys. 1. Konfiguracja ESP

Fig. 1. Configuration of FMS

3.2. Dane.

Zadanie produkcyjne dla symulowanego procesu przedstawiono w tabelicy 1 zawierającej liczebności poszczególnych typów przedmiotów, czasy jednostkowe, przydział do obrabiarek oraz obciążenie każdego centrum obróbkowego.

Tabela 1. Zadanie produkcyjne.											
Numer przedm.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Liczba sztuk	10	5	5	20	5	5	20	20	5	30	
Czas jedn.	45	90	140	30	65	105	15	55	75	7	
MC65-A60	450			600			300			210	1560
MC100-A60		450			325			1100			1875
MC1210-A60			700			525			375		1600

Jest to, w przybliżeniu, dwudniowe zadanie produkcyjne, przy szesnastogodzinnym dniu pracy systemu, z najbardziej obciążonym centrum MC100-A60 (1875 [min]).

Podstawowe dane dla macierzowego modelu symulacyjnego zapisane są w tzw. zbiorach wyjść. Zbiór $OSC(j,k)$ zawiera numery czynności, w których może uczestniczyć element k , po zakończeniu swego udziału w czynności j . W tabelicy 2 podano zbiory wyjść dla czynności związanych z wykonywaniem pierwszego przedmiotu (PAL 1). Sekwencja czynności o numerach $j=7+12$ jest powtarzana z analogicznymi zbiorami wyjść dla pozostałych dziewięciu przedmiotów. Ogółem wyodrębniono 74 czynności i 19 elementów funkcjonalnych systemu.

Tabela 2. Zbiory wyjść $OSC(j,k)$							
Element (k)	→ k	1	2	5	6	18	czas [min]
j	Czynność (j)	AGV	MC65	CS	PAL1	RT65	
2	AGV***	$OSC(2,1)$					0
3	AGV→MC1210	22,40, 58					1.5
4	AGV→MC100	16,34, 52					1.5
5	AGV→MC65	10,28, 48,64					1.5
6	AGV→CS	$OSC(6,1)$					1.5
7	PAL1, WSS→RT65	2			8	8	1.5
8	RT65(→)		9		9	10,28, 48,64	0.2
9	PAL1, MC65*		$OSC(9,2)$		10		45.0
10	PAL1, RT65→CS	2		11	11	7,25, 43,61	2.0
11	PAL1, CS*			12	12		5.0
12	PAL1, CS→WSS	2		$OSC(12,5)$	74		1.2
67	AGV→WSS(MC1210)	19,37, 55					1.5
68	AGV→WSS(MC100)	13,31; 49					1.5
69	AGV→WSS(MC65)	7,25, 43,61					1.5
74	END						0

$OSC(2,1) = \{3, 4, 5, 6, 67, 68, 69\}$

$OSC(6,1) = \{12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66\}$

$OSC(9,2) = \{8, 26, 44, 62\}$

$OSC(12,5) = \{10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52, 58, 64\}$

Czynności $j=3+6$ są czynnościami dojazdu wózka do odpowiednich centrów obróbkowych i stacji mycia, w celu odebrania gotowego przedmiotu, natomiast $j=67+69$, czynnościami dojazdu wózka do stacji załadowczo-rozładowczej, w celu pobrania jednego z półfabrykatów obrabianych na centrach wskazanych w nawiasach. Skrócony zapis nazw pozostałych czynności oznacza odpowiednio:

- AGV*** - potwierdzenie gotowości wózka do pracy;
 przypadek strzałki (\rightarrow) - przemieszczanie palety;
 przypadek gwiazdki (*) - obróbkę, mycie;
 RT65 (\leftrightarrow) - obrót stołu.

W ostatniej kolumnie tabelicy 2 podano czasy trwania czynności w [min].

3.3. Warunki taktyczne.

W pierwszym wariantcie eksperymentu symulacyjnego, czynności transportowe były wykonywane bez wyprzedzenia, co wiązało się z odpowiednią postacią koniecznych warunków taktycznych. Np. czynności $j=5$ (AGV \rightarrow MC65) przyporządkowano dwa warunki:

$$\begin{aligned} 1. n_5 &< n_8 + n_{26} + n_{44} + n_{62} & (2) \\ 2. n_3 + n_4 + n_5 &= n_8 \end{aligned}$$

Warunki te mają prostą interpretację. Czynność dojazdu wózka AGV do centrum MC65-A60 należy rozpocząć dopiero po zakończeniu obróbki dostarczonego tam przedmiotu i wykonaniu obrotu stołu RT65, co ma miejsce tylko wtedy, gdy spełniony jest warunek 1 (czynności o numerach $j = 26, 44, 62$ związane są z obrotem stołu RT65, po obróbce czwartego, siódmego i dziesiątego przedmiotu). Ponadto, czynność tę można wykonać jedynie wówczas, gdy stacja mycia CS jest wolna, co zapewnia warunek 2.

Analogiczne warunki przyporządkowano czynnościom $j=3$ i $j=4$.

Z kolei, czynność $j=69$ (AGV \rightarrow WSS (MC65)) można wykonać tylko wtedy, gdy centrum MC65-A60 jest wolne. Zapewnia to warunek:

$$n_{69} < n_{10} + n_{28} + n_{46} + n_{64} + 1 \quad (3)$$

(numery $j=28, 46, 64$ odnoszą się do czynności przekazywania na stację mycia pozostałych przedmiotów). Analogiczne warunki przyporządkowano czynnościom $j=67$ i $j=68$.

Czynności $j=6$ (AGV \rightarrow CS) przypisano warunek:

$$n_6 < n_{11} + n_{17} + n_{23} + n_{29} + n_{35} + n_{41} + n_{47} + n_{53} + n_{59} + n_{65} \quad (4)$$

zapewniający wcześniejsze wykonanie czynności mycia dostarczonego uprzednio przedmiotu.

W drugim wariantcie eksperymentu czynności dojazdowe, jeśli to możliwe, były wykonywane z wyprzedzeniem. W tym celu czynnościom $j=3,4,5,6$ przyporządkowano alternatywne - w stosunku do poprzednio wymienionych - warunki taktyczne. Np. dla czynności $j=5$ (AGV→MC65) warunki postaci (2) przyjęły postać:

$$\begin{aligned} 1. n_5 < n_7 + n_{25} + n_{43} + n_{61} \\ 2. n_3 + n_4 + n_5 = n_6. \end{aligned} \quad (5)$$

Warunek 1 jest spełniony wtedy, gdy na stół RT65 dostarczony kolejny przedmiot i oczekuje się na zakończenie obróbki poprzednio dostarczonego przedmiotu, który po obrocie stołu będzie gotowy do odebrania. Jak widać, drugi warunek pozostał nie zmieniony, gdyż zapewnia on, że stacja mycia jest wolna.

Jeśli na i -tym etapie symulacji czynność $j=5$ (AGV→MC65) jest możliwa do wykonania (wózek AGV jest wolny) i spełnione są warunki (2), czynność ta rozpoczynana jest natychmiast. Jeżeli warunki (2) na to nie pozwalają, sprawdzane są warunki (5). Gdy są spełnione, wyliczany jest najwcześniejszy dopuszczalny termin rozpoczęcia czynności $j=5$, według wzoru (1), który w tym przypadku przyjmie szczególną postać:

$$T_{start_5}(i) = \min(T_{end_9}(i), T_{end_{27}}(i), T_{end_{45}}(i), T_{end_{63}}(i)) - 180. \quad (6)$$

Formuła czasowa (6) zezwala na rozpoczęcie czynności dojazdu wózka do stacji MC65 na trzy minuty (180s) przed spodziewanym terminem zakończenia obróbki znajdującego się tam przedmiotu. W konsekwencji, w momencie pojawienia się zadania transportowego (przewiezienie palety z obrobionym przedmiotem do stacji mycia), wózek będzie oczekiwał w pobliżu i bezwzględnie przystąpił do jego wykonania.

Analogiczne warunki postaci (5) i formuły czasowe (6) przyporządkowano czynnościom $j=3$ i $j=4$.

Alternatywny do (4) warunek dla czynności $j=6$ (AGV→CS) ma postać:

$$n_6 < n_{10} + n_{16} + n_{22} + n_{28} + n_{34} + n_{40} + n_{46} + n_{52} + n_{58} + n_{64}. \quad (7)$$

Jego prawdziwość oznacza, że dostarczony kolejny przedmiot do mycia. Wózek może dojechać do stacji mycia z wyprzedzeniem, rozpoczynając jazdę nie wcześniej niż w terminie:

$$\begin{aligned} T_{start_6}(i) = \min(T_{end_{11}}(i), T_{end_{17}}(i), T_{end_{23}}(i), T_{end_{29}}(i), \\ T_{end_{35}}(i), T_{end_{41}}(i), T_{end_{47}}(i), T_{end_{53}}(i), \\ T_{end_{59}}(i), T_{end_{65}}(i)) - 180. \end{aligned} \quad (8)$$

to znaczy 3 minuty przed przewidywanym zakończeniem mycia przedmiotu, który ma być odwieziony do magazynu.

Podobnie jak poprzednio, jeśli warunek (4) jest spełniony, czynność J6 (AGV→CS) rozpoczynana jest natychmiast. W przeciwnym razie sprawdzany jest warunek (7) i wykorzystywana bądź nie, formuła czasowa (8).

3.4. Wyniki symulacji

Badania przeprowadzono za pomocą opracowanego w ITM PK programu symulacyjnego ESPSYM.

Osiągnięty efekt zastosowania przedstawionej taktyki ilustruje tablica 3, w której zestawiono uzyskane w obu wariantach eksperymentu symulacyjnego czasy wykonania zadania produkcyjnego oraz współczynniki wykorzystania elementów systemu (wariant I - bez przygotowawczych ruchów wózka, wariant II - dojazd wózka z wyprzedzeniem).

Zgodnie ze sposobem przyjętym w programie, czas podano w formacie:

$$T = \text{dni-godziny:minuty.sekundy.}$$

Warto przypomnieć, że ze względu na obciążenie centrum MC100-A60 (1875 [min]), teoretyczny czas wykonania zadania produkcyjnego wynosi 1-15:15.00 przy szesnastu godzinach pracy systemu na dobę.

Tablica 3. Współczynniki wykorzystania elementów systemu

Eksperyment — czas	AGV	MC65	MC100	MC1210	CS
Wariant I T=2-01:29.10	0.80	0.79	0.94	0.80	0.54
Wariant II T=1-15:33.00	0.85	0.84	1.0	0.85	0.57

4. Zakończenie

Przeprowadzone eksperymenty symulacyjne, dla wybranego modelu ESP, wykazały skuteczność opracowanej taktyki, umożliwiającej realizowanie przygotowawczych czynności transportowych z wyprzedzeniem. Termin rozpoczęcia dojazdu wózka do urządzenia, na którym pojawi się gotowy do przewiezienia przedmiot, można łatwo wyznaczyć na podstawie spodziewanych terminów zakończenia czynności aktualnie w systemie wykonywanych. Dzięki temu, w chwili wystąpienia zapotrzebowania na obsługę, wózek znajduje się w po-

bliżu odpowiedniego miejsca i może szybciej przystąpić do wykonania zadania transportowego. Metoda pozwala w istotnym stopniu zwiększyć współczynniki wykorzystania obrabiarek, stanowiące podstawową miarę efektywności systemu. Jednocześnie, co jest oczywiste, postępowanie to umożliwia skrócenie czasu potrzebnego na wykonanie postawionego zadania produkcyjnego. Zauważono, że skuteczność metody jest szczególnie widoczna przy dużym obciążeniu wózka, z trudem nadążającego z przemieszczaniem palet w systemie.

LITERATURA

- [1] Cyklis J.: Algorytm symulacji ESP. ZN Politechniki Śląskiej. Seria Automatyka, z. 96, 1988.
- [2] Cyklis J.: Towards simple simulation of FMS. Monografie Politechniki Krakowskiej, nr 58, 1987.
- [3] Cyklis J., Chmiel J., Pierzchała W., Rusinek S., Szadkowska J.: Weryfikacja koncepcji podłączenia sterowania modułu rzeczywistego dla programu symulującego działanie ESP. Opracowanie dla CPBP 02.04, 1989.
- [4] Cyklis J., Pierzchała W.: Simulation and Control of FMS on its Operational Level, 6th Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology. INCOM'89, Madrid, 1989.
- [5] Cyklis J., Pierzchała W.: Taktyka ESP w oparciu o model macierzowy. ZN Politechniki Śląskiej. Seria Automatyka, z. 96, 1988.

Recenzent: Doc.dr h.inż.J.Klamka

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

PRELIMINARY TRANSPORT ACTIVITIES IN MATRIX MODEL OF FMS

Summary

The essential feature of the matrix model of FMS is that for each stage of the simulation all activities whose starting is possible are specified. The feasibility of starting an activity depends on whether all elements assumed to take part in it are also prepared for starting. The choice of the activity from the set mentioned above and the time of starting is an outcome of the tactics. The tactics shown in the paper considers an anticipated run of the automated guided vehicle provided for pallets with workpieces, to the place where the transport task can appear. The example of the simulation model of FMS with the preliminary transport activities shows the way of increasing the utilization factor of machine tools.

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МАТРИЧНОЙ МОДЕЛИ ГИБКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

Резюме

Характерной чертой матричной модели гибкой промышленной системы является то, что в каждой фазе моделирования указывает все действия, которые можно начать. Возможность начать действия вытекает из доступности всех элементов, которые в ней участвуют. Выбор действия и срок его начала зависит от принятой тактики. Тактика представленная в работе делает возможным более ранний подъезд тележки, перемещающей скиды с обрабатываемыми деталями к месту возникновения ожидаемой транспортной задачи. Пример модели гибкой промышленной системы с подготовительными транспортными действиями служит доказательством, что предлагаемый метод даёт возможность увеличить показатели использования станков.