ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: AUTOMATYKA z.114 Nr kol. 1250

Jerzy CYKLIS, Krzysztof KRUPA
Politechnika Krakowska

OKREŚLENIE RELACJI MIĘDZY METODĄ CYKLI I METODĄ MACIERZOWĄ W MODELOWANIU ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

Streszczenie: Rozważano związek pomiędzy dwoma typami opisu działania ESP: modelem cykli i modelem macierzowym. Zdefiniowano grafy i cykle dla poszczególnych obiektów ESP, a następnie wektory ujmujące związek pomiędzy nimi. Na podstawie cykli obiektów i wektorów utworzono stosowne bazy danych. Pokazano sposób przekształcenia baz danych w trakcie wykonywania poszczególnych czynności w systemie. Wykazano, że sposób ten ma ścisły związek z metodą macierzową.

RELATIONS BETWEEN CYCLE MODEL AND MATRIX MODEL IN FMS MODELLING

Summary: A relation between two types of description of FMS performance: a cycle model and a matrix model is considered. For each object of FMS a graph, a cycle and vectors describing the relationship between nods are defined. On the basis of the object cycles and the vectors the data bases are created. It is shown how to transform the data bases while the activities in the system are performed. A strong relationship between cycle method and matrix models has been proved.

СВЯЗЬ МЕЖДУ МОДЕЛЬЮ ЦИКЛОВ И МОДЕЛЬЮ МАТРИЦ ДЕЙСТВИЯ ГПС

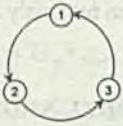
Резюме : Рассматривалась связь между двумя типами описания действия ГПС: моделью циклов и моделью матриц.
Определены графы и циклы для отдельных объектов ГПС, а затем векторы содержащие связь между ними. На основании циклов объектов и векторов созданы соответствующие базы данных. Продемонстрирован способ преобразования баз данных во время исполнения отдельных действий в системе. Показано, что этот способ непосредственным образом связан с матричным методом.

1. Wprowadzenie

Zadaniem poniższych rozważań jest znalezienie cech wspólnych między metodą cykli i metodą macierzową w modelowaniu ESP i propozycja takich przekształceń metody cykli, aby była ona transformowalna na metodę macierzową.

1.1. Stan obecny modelowania systemów w metodzie *cykli* oraz w metodzie *macierzowej*

Wszystkie elementy tworzące jakiś system pracują w ściśle określony sposób. Większość czynności danego elementu powtarza się w czasie, w takiej samej kolejności. Mówimy wtedy, że element pracuje w cyklu. Można zatem opisać działanie tego elementu łańcuchem zamkniętym, złożonym z odpowiednich czynności. Np.:



Rys. 1. Łańcuch zamknięty, przykład cyklu pracy obrabiarki

Fig. 1. Closed chain, example of working cycle of machine-tool

gdzie 1, 2, 3 są numerami odpowiadającymi kolejnym stanom obrabiarki:

1 - Załadowanie przedmiotu na obrabiarkę

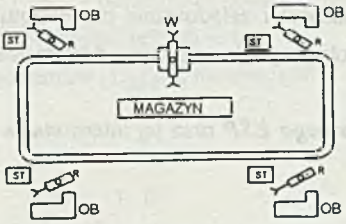
2 - Obróbka przedmiotu

3 - Rozładunek przedmiotu z obrabiarki

Może wystąpić sytuacja, w której element systemu nie wraca do punktu wyjściowego. Sposób funkcjonowania takiego obiektu można opisać grafem.

Opis funkcjonowania całego systemu wymaga określenia odpowiednich związków między łańcuchami opisującymi każdy obiekt osobno. Można to zrobić graficznie, co trafia do wyobraźni, ale zastosowanie tego modelu do symulacji komputerowej wymaga ścisłej definicji matematycznej nie tylko łańcuchów elementarnych, ale i relacji między nimi.

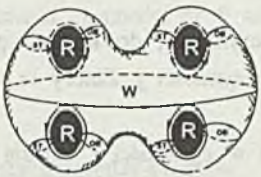
Przykład systemu złożonego z 4 obrabiarek, stołów, manipulatorów, z 1 magazynu i 1 wózka przedstawia rys.2.



Rys. 2. Przykład systemu

Fig. 2. Example of system

Schemat ideowy cykli tego systemu jest przedstawiony na rysunku 3:

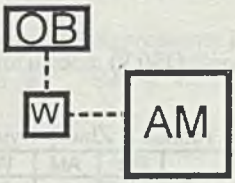


Rys. 3. Schemat ideowy systemu przedstawionego na rysunku 2

Fig. 3. Schema of system presented on fig.2

Jest widoczne, że cykle elementarne, zdefiniowane dla każdego obiektu, mają punkty wspólne, w których następuje współpraca kilku obiektów systemu.

Dla jasności rozważań zajęto się celowo prostym przykładem systemu składającego się z magazynu, wózka, obrabiarki i przedmiotu obrabianego (rys.4).



Rys.4. Analizowany system

Fig.4. Analyzed system

Opis działania systemu

W automatycznym magazynie AM znajdują się przedmioty przeznaczone do obróbki. Do magazynu AM podjeżdża wózek W, na który zostaje załadowany jeden przedmiot.

Zadaniem wózka W jest transport i załadowanie przedmiotu na obrabiarkę oraz transport i przekazanie przedmiotu obrobionego do magazynu AM po zakończeniu obróbki.

Idea ***modelu macierzowego ESP*** oraz jej interpretacja dla rozważanego systemu jest następująca [1]:

Każdemu obiektowi systemu (lub grupie elementów tworzących funkcjonalną całość) przyporządkowuje się kolejne numery k=1,2,...K.
Czynności wykonywane przez elementy systemu tworzą ***zbiór czynności elementarnych***. Im również przyporządkowuje się kolejne numery j=1,2,...J.
W zależności od procesu produkcyjnego dopuszczalna kolejność czynności jest zapisywana w tzw. ***zbiorach wyjść OS(j,k)***.
Zbiór OS(j,k) zawiera numery czynności, do których przygotowany jest element **k** po zakończeniu swojego udziału w czynności j. Zbiory te deklarowane są przez projektanta systemu.
Liczbę elementów **k** używanych w czynności **j** określa ***macierz liczebności używanych obiektów*** $[U_{jk}]$.
U_{jk} = LS, gdzie LS jest liczbą obiektów (tego samego typu) **k** biorących udział w czynności j lub
U_{jk} = 0, gdy element **k** nie uczestniczy w czynności **j**.

Zbiory wyjść **OS(j,k)** oraz macierz liczebności używanych elementów $[U_{jk}]$ tworzą model ESP, umożliwiający pełny opis jego funkcjonowania.

Model macierzowy, na każdym etapie funkcjonowania ESP wyznacza wszystkie czynności, których rozpoczęcie jest możliwe ze względu na dostępność wszystkich niezbędnych elementów w wymaganej liczebności. Dobór porządku rozpoczynania dopuszczalnych czynności wyznaczają decyzje taktyczne. Szczegółowy opis metody: [1].

Dla rozważanego systemu zbiory wyjść OS(j,k) modelu macierzowego przyjmują postać:

Tablica 1. Zbiory wyjść OS(j,k)

		PO	AM	W	OB
	N	1	2	3	4
PO,AM→W	1	2	1,5	2	
PO,W→OB	2	3		1,4	3
PO,OB*	3	4			4
PO,OB→W	4	5		5	2
PO,W→AM	5	6	1,5	1,4	
BATCH S/END	6	1			

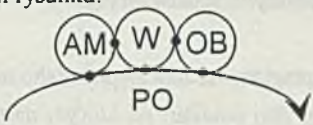
W przykładzie tym np. OS(2,3) → 1,4 oznacza, że obiekt 3 (k=3) po wykonaniu czynności 2 (j=2) jest gotowy do wykonania czynności nr1 lub nr4.
Postać macierzy używanych elementów $[U_{jk}]$ jest następująca:

$$\left[U_{jk}\right]=\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \qquad (1.1)$$

U_{61} =10 oznacza, że po zakończeniu czynności nr 6 nastąpiło zakończenie obróbki serii 10 przedmiotów.

2. Definicje cykli dla obiektu i relacje między cyklami

Graficzna wizualizacja współpracy poszczególnych obiektów analizowanego systemu przedstawiona jest na poniższym rysunku:



Rys. 5. System (z rys.4.) w metodzie cykli
Fig. 5. System (fig.4) in cycle method

Każdemu obiektowi przyporządkowuje się kolejny numer j:
PO → 1 AM → 2 W → 3 OB → 4

Def.1. [3]

Grafem zorientowanym nazywamy trójkę G(A,C,φ), gdzie A jest przeliczalnym zbiorem elementów zwanych wierzchołkami lub węzłami grafu, C - przeliczalnym zbiorem elementów zwanych łukami grafu, φ - odwzorowaniem takim, że :

$\varphi: A \times A \rightarrow C$ (relacja przyległości lub incydencji w grafie)

Każdemu obiektowi przyporządkowuje się graf o numerze G_j. W grafie tym zbiór A jest zbiorem możliwych stanów obiektu, zbiór C - zbiorem czynności, natomiast relacja φ definiuje wprost możliwości przejścia z jednego stanu w drugi.

Dla uściślenia pojęcia *cyklu*, którym operowano wcześniej przyjęto następujące definicje:

Def.2. [3]

Uporządkowaną parę g = [S,L] nazywa się ***łańcuchem*** łączącym węzły krańcowe a_{i1} i a_{ik}, gdzie S = $[a_{i1},a_{i2},...,a_{ik}]$ (k=1,2,3,.....) jest takim ciągiem węzłów grafu G, że dla każdej pary sąsiadujących węzłów ciągu

$$a_{is}, a_{is+1}, \quad s=1,2, ..., k-1$$

istnieje łącząca je krawędź $l_{is,is+1}$, natomiast L jest zbiorem krawędzi wyznaczonych przez ciąg S.

Def.3. [3]

Łańcuch, w którym węzeł a_{i1} jest identyczny z węzłem a_{ik}, nazywa się ***cyklem***.

Def.4. [3]

Cykl nazywa się ***cyklem elementarnym***, jeśli węzły a_{i1} i a_{ik} stanowią w nim jedyną parę węzłów identycznych, i ***cyklem prostym***, jeśli tworzy go łańcuch prosty.

Przykłady grafów i cykli wraz z przyjętą numeracją pokazano na rys.6.
Każdy wierzchołek grafu opisuje stan obiektu, po którym następuje rozpoczęcie następującej czynności:

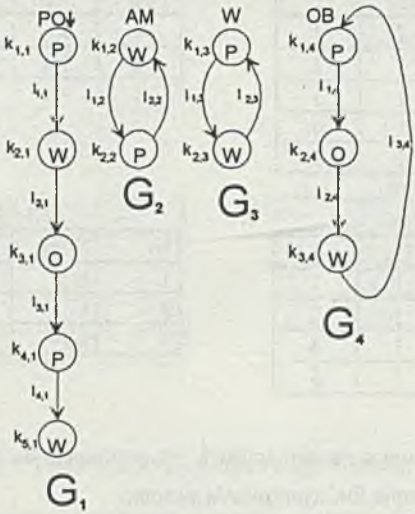
P - pobranie elementu
W - wydanie elementu
O - obróbka,

natomiast każdy łuk grafu, opisuje konkretną czynność.

Każdemu wierzchołkowi grafu przyporządkowuje się numer k=(i,j), gdzie i - oznacza numer kolejnego wierzchołka grafu, natomiast j - jest numerem obiektu opisanego tym grafem. Każdemu łukowi również przyporządkowuje się numer - l_{jk}, gdzie i jest numerem kolejnego łuku. Zapis informacji o obiektach za pomocą grafów przedstawia rysunek 6.
Przedstawione na rys.6 grafy opisują funkcjonowanie każdego obiektu systemu osobno. Aby opisać funkcjonowanie całego systemu, należy zdefiniować relacje między grafami na wszystkich etapach pracy systemu.
Zdefiniowano następujące wektory:

$$\overline{c}_1, \overline{c}_2, \ldots, \overline{c}_J$$

Przyporządkujmy każdej czynności j, która może wystąpić, wektor $\overline{c}_j$. Wymiar tego wektora odpowiada liczbie obiektów w systemie, natomiast współrzędne odpowiadają stanom obiektów, które są wymagane do wykonania danej czynności. Jeżeli n-ta współrzędna wektora



Rys.6. Grafy wszystkich obiektów systemu

Fig.6. Graph all of the objects in system

$\overline{c}$ równa się zero, oznacza to, że n-ty element systemu nie bierze udziału w czynności opisanej tym wektorem.

Dla rozpatrywanego systemu otrzymano następujące wektory $\overline{c}_j$:

$$\begin{aligned} \overline{c}_1&=(k_{11}, k_{12}, k_{13}, 0)\\ \overline{c}_2&=(k_{21}, 0, k_{23}, k_{14})\\ \overline{c}_3&=(k_{31}, 0, 0, k_{24})\\ \overline{c}_4&=(k_{41}, 0, k_{31}, k_{34})\\ \overline{c}_5&=(k_{51}, k_{22}, k_{23}, 0) \end{aligned} \tag{1.2}$$

Rozrysowanie grafów oraz określenie relacji między nimi jest zadaniem stosunkowo prostym. Projektant tworzy graf opisujący każdy obiekt systemu. Wypisanie relacji między grafami, które nie są skomplikowanymi strukturami, również nie nastręcza trudności.

Spróbujmy teraz stworzyć bazy danych, które by opisywały możliwe stany poszczególnych obiektów. Tablice 2 przedstawiają dane odpowiadające grafom z rys.6, a także uwzględniające informacje zawarte w wektorach 1.2.

Symbol ↓ umieszczony przy nazwie tablicy informuje, że tablica ta opisuje łańcuch otwarty. Tablice opisują stan każdego elementu tworzącego system.

Tablica 2. Tablice zawierające dane

PO↓ G_1

Nr	Stan	$N_{j1}(1)$	U_{j1}	j
1	k_{11}	10	1	1
2	k_{21}	0	1	2
3	k_{31}	0	1	3
4	k_{41}	0	1	4
5	k_{51}	0	1	5

AM G_2

Nr	Stan	$N_{j2}(1)$	U_{j2}	j
1	k_{12}	1	1	1
2	k_{22}	0	1	5

W G_3

Nr	Stan	$N_{j3}(1)$	U_{j3}	j
1	k_{13}	1	1	1
2	k_{23}	0	1	2
3	k_{13}	0	1	4
4	k_{23}	0	1	5

OB G_4

Nr	Stan	$N_{j4}(1)$	U_{j4}	j
1	k_{14}	0	1	2
2	k_{24}	0	1	3
3	k_{34}	0	1	4

$N_{jk}(i)$ - jest wartością informującą ile elementów k jest gotowych do rozpoczęcia czynności j na rozpatrywanym etapie funkcjonowania systemu,

U_{jk} - jest wartością informującą ile elementów k jest używanych w czynności j,

j - numer czynności, do której jest zdolny dany element, odpowiadający numerowi wektora $\overline{C}_j$.

Na podstawie takiej bazy danych można stworzyć macierz, która opisuje gotowość obiektów do wykonania czynności w całym systemie.

$[\Delta_{jk}(i)] =$

j \ k	$\Delta_1(1)$	$\Delta_2(1)$	$\Delta_3(1)$	$\Delta_4(1)$
1	9	0	0	0
2	-1	0	-1	-1
3	-1	0	0	-1
4	-1	0	-1	-1
5	-1	-1	-1	0

(1.3)

gdzie $\Delta_k = N_{jk}(1) - U_{jk}$, k - liczba obiektów w systemie.

Czynność j może się rozpocząć, jeżeli $\forall k \quad \Delta_{jk}(i) \geq 0$, a więc gdy występuje nadwyżka lub równowaga obiektów dostępnych nad wymaganymi w danej czynności.

Widać, że na danym etapie, tylko czynność nr1 może być wykonana. Po wykonaniu tej czynności zmienią się wartości zapisane w tablicach 2 wg reguł zapisanych w grafach na rys.6.:

Tablica 3. Tablice zawierające dane

PO↓ G_1

Nr	Stan	$N_{j1}(1)$	U_{j1}	j
1	k_{11}	9	1	1
2	k_{21}	1	1	2
3	k_{31}	0	1	3
4	k_{41}	0	1	4
5	k_{51}	0	1	5

AM G_2

Nr	Stan	$N_{j2}(1)$	U_{j2}	j
1	k_{12}	0	1	1
2	k_{22}	0	1	5

W G_3

Nr	Stan	$N_{j3}(1)$	U_{j3}	j
1	k_{13}	0	1	1
2	k_{23}	1	1	2
3	k_{13}	0	1	4
4	k_{23}	0	1	5

OB G_4

Nr	Stan	$N_{j3}(1)$	U_{j3}	j
1	k_{14}	1	1	2
2	k_{24}	0	1	3
3	k_{34}	0	1	4

Po wykonaniu czynności 1 macierz opisująca stan całego systemu przyjmie postać:

$[\Delta_{jk}(i)] =$

j \ k	$\Delta_1(1)$	$\Delta_2(1)$	$\Delta_3(1)$	$\Delta_4(1)$
1	8	-1	-1	0
2	0	0	0	0
3	-1	0	0	-1
4	-1	0	-1	-1
5	-1	-1	-1	0

(1.4)

Widać tutaj, że następną możliwą do wykonania czynnością będzie czynność nr 2.

Uzyskana macierz 1.3 odpowiada wprost macierzy stanu $S_{jk}(i)$ z modelu macierzowego, a więc: $S_{jk}(i) = \Delta_{jk}(i)$..

Informacja o używanych elementach zawarta w tablicach opisujących poszczególne obiekty odpowiada wprost macierzy elementów używanych U_{jk} z modelu macierzowego.

Dokonując w wyżej podany sposób przekształcenia bazy danych postępuje się identycznie jak w modelu macierzowym.

3. Wnioski

Korzystając z definicji cykli poszczególnych obiektów oraz wektorów (1.2) stworzono tablice zawierające dane (tab.2.). Zapisując w ten sposób związki między grafami

odpowiadającymi poszczególnym obiektom, uzyskano wprost macierz $\Delta_{jk}(i)$ (1.3) równą macierzy stanu $S_{jk}(i)$ z modelu macierzowego.

Na uwagę zasługuje fakt, że zaprezentowana metoda pokazuje, jak związać model cykli i model macierzowy symulacji ESP z relacyjnymi bazami danych i jak te bazy przekształcać w czasie działania systemu.

LITERATURA

[1] Cyklis J., Pierzchała W.: Simulation and Control of FMS on its Operational Level. 6th Symposium on Information Control in Manufacturing Technology, INCOM 89, Madryt, 1989, pp 1-6.

[2] Лескин А.А.: Алгебраические модели ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ, Издательство "НАУКА", Ленинград, 1986

[3] Kulikowski J.L.: Zarys teorii grafów, PWN Warszawa, 1986

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994 r.

Abstract

In the paper a relation between two types of FMS description, i a cycle method and a matrix model is considered. In the matrix model information concerning the way how the system works is stored in the output set OS(j,k) and matrix U_{jk}. OS(j,k) describes the set of activities which can be performed by the object ***k*** after finishing the activity ***j***. U_{jk} is the matrix showing how many objects ***k*** is used in the activity ***j***. In the cycle method the graphs are used with nods A being the states of the objects are used. The graphs where nodes A are states of objects, arcs C are operations, and the relation φ : AxA defines transitions from state to state are used. In order to show the above mentioned relations the vector $\bar{c}_j$ which coordinates respond to the states of objects required in activites, is defined. On the basis of the vectors $\bar{c}_j$ the data bases (tab.2) are created. They contains number of objects used in each activity, exactly like in the matrix model U_{jk}, information concerning the activities which can be performed by the objects and the value $N_{jk}(i)$ informing how many objects ***k*** are ready to start operation ***j*** at the given stage ***i*** of system. The matrix Δ is created which describes which objects is ready to start an operation in the system is created. The transformation of the databases and the matrix Δ is shown.

The way of the transformation corresponds to the one used in the case of the matrix model.