

Jerzy CYKLIS, Krzysztof KRUPA
Politechnika Krakowska

INTEGRACJA INFORMACJI SYSTEMOWEJ I TECHNOLOGICZNEJ DLA STEROWANIA ESP

Streszczenie. Bazując na oprogramowaniu do sterowania ESP opartym na modelu macierzowym (MM) stworzono algorytm oraz oprogramowanie automatycznego generowania danych wejściowych do MM. Wykorzystano informacje o strukturze i obiektach tworzących system, a także informacje o technologii. Opracowany algorytm umożliwia dynamiczną zmianę zarówno realizowanej technologii, jak i zmianę składników systemu (obiektów).

INTEGRATION OF SYSTEMS AND MANUFACTURING INFORMATION FOR FMS CONTROL

Summary. On the strength on software for FMS control, based on Matrix Model (MM), the algorithm and software for automated generation the input data for MM was built. For the algorithm creation and the information about system structure and manufacturing was used. This algorithm allows to change manufacturing information and the structure of the production system in dynamic way.

1. Wstęp

Funkcjonowanie Elastycznych Systemów Produkcyjnych bardzo ściśle wiąże się z komputerowym wspomaganie przygotowania informacji projektowej (CAD), technologicznej (CAPP) oraz z oprogramowaniem do sterowania systemami (CAM).

Istnieje wiele uznanych systemów CAD, które w bardzo dobrym stopniu ułatwiają pracę konstruktorów: AutoCAD z bogatymi bibliotekami i nakładkami lub bardziej zaawansowane systemy, takie jak Euclid 3, CADDSS, Pro-Engineer i in. [11]. Planowanie procesów technologicznych jest również wspomagane przez wiele programów komputerowych (CAPP, MIPLAN, AUTOCAP, TOJI, CAP, GTJ i in.) opartych na różnorodnym podłożu teoretycznym.

Zgromadzenie informacji technologicznych i systemowych w bazach danych pozwala

na interaktywną pracę w zakresie modułów CAD - CAPP [10, 12]. Sposób integracji modułów CAD/CAPP/CAM, jakkolwiek stanowi pewną trudność, jest stosunkowo dobrze opisany [1].

Przepływ informacji z modułu CAD do innych modułów wchodzących w skład CAM realizuje się m.in. przez standardowe formaty zapisu rysunku, np. DXF, IGES i in. W module CAPP, korzystając z informacji otrzymanej z modułu CAD, generuje się procesy technologiczne. Procesy te wygenerowane dla poszczególnych maszyn są przekazywane, po przetworzeniu przez postprocesory, do systemów wytwarzania. Rozwiązuje to problem sterowania na podstawie tych danych tylko pojedynczymi maszynami. Aby zespolić te informacje i sterować całym elastycznym systemem produkcyjnym, należy zastosować odpowiednie oprogramowanie. Bazę tego typu oprogramowania stanowią różnorodne modele matematyczne ESP. Wymienić tu można opisaną w pracy [4] teorię kolejek, czy też sieci Petriego [9].

Celem tego opracowania jest przedstawienie sposobu usprawnienia przepływu informacji z modułu CAPP (technologicznego) do modułu sterowania ESP opartego na modelu macierzowym z uwzględnieniem struktury systemu.

Istnieją próby realizacji kompleksowego sterowania Elastycznymi Systemami Produkcyjnymi. Przykładem może być program FLEXPLAN opracowany na Uniwersytecie w Hanowerze, czy pakiet FMS 300 firmy Siemens. Jednakże nie spotyka się w publikacjach algorytmów realizujących automatyczną wymianę informacji między modułem CAPP a modułem sterowania.

1.2. Sterowanie ESP w oparciu o *Model Macierzowy*

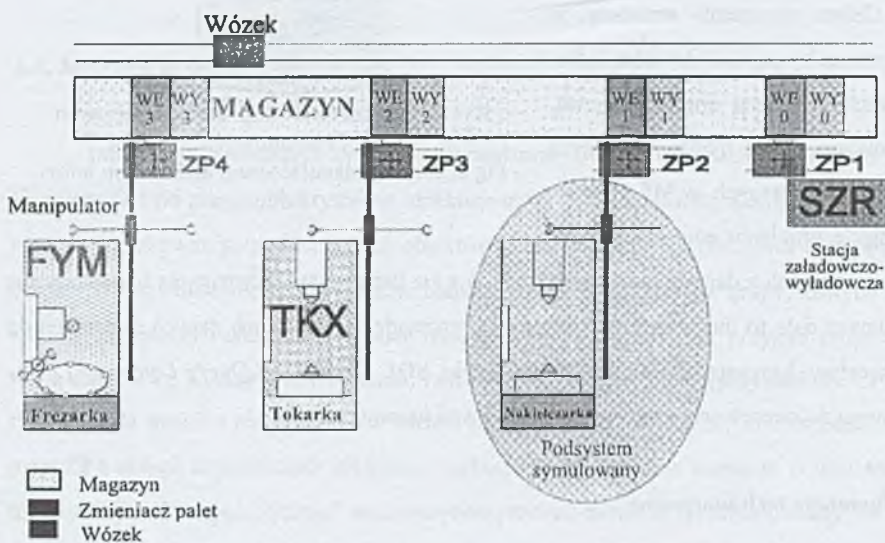
Dobrze zaprojektowany elastyczny system produkcyjny musi pozwalać na systematyczny rozwój CIM. Żaden system CIM nie może być uruchomiony w jednorazowym akcie, ale rozbudowywany i udoskonalany w ciągu swojego działania [8]. Dlatego w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej (ITMiAP PK) opracowano macierzowy model sterowania ESP [2, 3, 5, 6, 7]. Bazę techniczną do weryfikacji rozważań teoretycznych stanowi elastyczny system do produkcji wałków CP-TOR1 (rys. 1) [13].

1.3. Idea Modelu Macierzowego[8]

Każdemu obiektowi systemu (lub grupie elementów tworzących funkcjonalną całość) przyporządkowuje się kolejne numery $k=1,2,\dots,K$. Czynności wykonywane przez elementy

systemu tworzą *zbiór czynności elementarnych*. Im również przyporządkowuje się kolejne numery $j=1,2,\dots,J$. W zależności od procesu produkcyjnego dopuszczalna kolejność czynności jest zapisywana w tzw. *zbiórach 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.



Rys. 1. Centrum Produkcyjne TOR 1
Fig. 1. Producing Center TOR 1

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 liczbie. Dobre porządku rozpoczynania dopuszczalnych czynności wyznaczają decyzje taktyczne. Szczegółowy opis metody: [8]. Danymi wejściowymi do MM są dwa pliki. W jednym z nich wyróżniono wszystkie, wykonywane w ramach określonego procesu, czynności oraz wymienione są obiekty biorące w tych czynnościach udział, natomiast w drugim zawarto informacje, w jakich

czynnościach poszczególne obiekty biorą udział. Pliki te mają określone nazwy: *mjxk.txt* oraz *nazwa.out*.

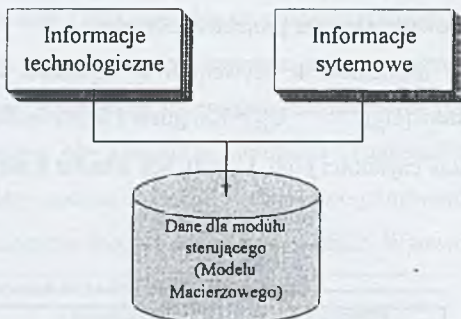
2. Modelowanie systemu

Aby wygenerować dane wejściowe dla modelu macierzowego, podzielono informację na dwa typy: technologiczną i systemową (rys.2).

Celem stworzenia struktury, w której można by zapisać dowolną informację technologiczną oraz systemową, zdecydowano się na model relacyjnych baz danych zapisanych w MS Access.

Takie ujęcie problemu umożliwia dodanie

dowolnej tabeli z danymi oraz powiązanie jej z już istniejącymi. Wymagania takie stawiane są, ponieważ daje to możliwość wykorzystania zgromadzonej w bazach danych informacji do różnych celów, korzystając z uniwersalnego języka *SQL (Structured Query Language)* przeznaczonego do operowania i sterowania relacyjnymi bazami danych.



Rys.2. Synteza informacji technologicznych i systemowych

Fig.2. Joint of manufacturing and system information

2.1. Informacje technologiczne

Podstawowe informacje technologiczne wymagane do wygenerowania czynności elementarnych wymaganych w modelu macierzowym zapisano w tabelicy *Operacje* :

Tablica 1

Operacje (przykład bazy)

PLIK	Nr_op	SYSTEMY	OBRABIARKA	POT	Czas	Opis
walek_01.pt	5	CP-TOR1	SZR	ZALAD1	0:1.00	Załadunek PO1
walek_01.pt	20	CP-TOR1	WCF	BORE1	0:0.56	Wiercenie otworów
walek_02.pt	10	CP-TOR1	SZR	ZALAD2	0:0.56	Załadunek PO2
walek_02.pt	30	CP-TOR1	WCF	BORE2	0:0.33	Wiercenie otworów
walek_03.pt	40	CP-TOR1	FYM	GROOVE3	0:0.33	Obróbka rowków
walek_03.pt	60	CP-TOR1	SZR	ROZLAD3	0:1.00	Rozładunek PO3

Tablicę tę można uzupełnić przenosząc dane z innych programów. W ITMiAP dane technologiczne zapisywane są w plikach tekstowych w formacie ASCII. Na potrzeby algorytmu stworzono tablicę *PlikiTechnologiczne*, w której zapisano informację o wybranych plikach technologicznych.

Tablica 2

PlikiTechnologiczne

SCIEZKA	SYSTEMY	PLIK	MnemoPO	MnemoPAL	StanPAL
c:\SYSTECH\DANE	CP-TOR1	walek_01.pt	PO1	PAL1	Nie
c:\SYSTECH\DANE	CP-TOR1	Wa-	PO2	PAL1	Tak
c:\SYSTECH\DANE	CP-TOR1	Wa-	PO3	PAL2	Nie

2.2. Informacje systemowe

Informacje o obiektach systemu zgromadzono również w bazach danych MS Access. W zależności od przyjętych kryteriów obiektem może być *obrabiarka*, ale tę samą *obrabiarkę* można rozpatrywać jako zbiór innych obiektów (podajnik, głowica obrotowa i in.). Ponieważ obiekty w systemie tworzą funkcjonalne zespoły, można je podzielić w grupy, których składnikami będą obiekty realizujące wspólnie określone typy operacji. Tak przyjęte grupy umożliwiają częściową analizę pracy systemu, tzn. jeżeli obrabiarka FYM (przykład dla CP-TOR1, rys.1) uległa awarii i nie może brać udziału w dalszych czynnościach, to również zmieniacz palet ZP4 w tych czynnościach nie będzie brał udziału. Oczywiście mowa tu o sterowaniu automatycznym. Sterując „ręcznie” można wykorzystywać dowolne sprawne obiekty. W ramach określonych grup można również wydzielać następne podgrupy. Na przykład z każdą obrabiarką współpracuje manipulator, który dostarcza przedmioty z palety znajdującej się na zmieniaczu palet na obrabiarkę i odwrotnie. Manipulator ten należy traktować jako część składową obrabiarki. Informację o obiektach systemów również zapisano w tablicach MS Access.

Tablica 3

Obiekty (przykład bazy)

SYSTEMY	MNEMONIK	GRUPA	OBRABIARKA	INNE
CP-TOR1	M	0		
CP-TOR1	W	1		
CP-TOR1	IN1	2		
CP-TOR1	ZP1	2	SZR	
CP-TOR1	OUT1	2		
CP-TOR1	IN2	3		

Każdy obiekt występujący wyżej może być opisany w oddzielnej tabeli, np.:

Tablica 4

Tokarka TKX

<i>Obiekty - opis</i>	<i>Obiekty. - kod</i>	<i>Parametry</i>
Zespół narzędziowy stały	ZNS
Zespół narzędziowy wymienny	ZNW
Podajnik - robot	R
.....	

itp...

Przedstawione tablice zawierają jedynie informację istotną z punktu widzenia generowania czynności elementarnych wykonywanych w systemie. Dla całego otoczenia informacyjnego należy uwzględnić szereg innych danych, mniej istotnych z punktu widzenia generowania sekwencji czynności elementarnych, ale przydatnych m.in. do monitorowania systemu.

Informacja o obiektach tworzących system jest tworzona dla każdego systemu z osobna. Wynika to z faktu, że dotychczas nie opracowano uniwersalnego sposobu zapisu takich informacji, ponieważ większość systemów różni się między sobą. Pomimo nagromadzenia różnorodnej informacji o obiektach systemu nie podaje się sposobu (klucza) wyboru informacji istotnej z punktu widzenia sterowania elastycznym systemem wytwarzania.

3. Algorytm tworzenia powiązań transportowych

Dla znanej struktury systemu oraz możliwości obiektów tworzących system należy określić sposoby współpracy. Realizować to można w oparciu o metodę cykli [5], w oparciu o wektory lub przez wskazywanie obiektów biorących udział w czynnościach [6]. Najnowsze rozwiązanie oparto na metodzie macierzowej. W tym celu stworzono *macierz przepływów*:

$$W[i,j]$$

$$\text{gdzie } i,j=1,2,\dots,n,$$

n - liczba obiektów w systemie.

$$W[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{- jeżeli obiekt } j \text{ współpracuje z obiektem } i \\ 0 & \text{- jeżeli obiekt } j \text{ nie współpracuje z obiektem } i \end{cases}$$

Współpraca obiektów jest jednokierunkowa, tzn. analizuje się współpracę obiektu z kolumny z obiektem z wiersza, a nie odwrotnie. Dla CP TOR1 macierz ta przyjmie postać:

Tablica 5

Macierz Przepływów

MNEMONIK	GRUPA	M	W	IN1	ZP1	OUT1	IN2	ZP2	OUT2	IN3	ZP3	OUT3	IN4	ZP4	OUT4
M	0														
W	1														
IN1	2														
ZP1	2														
OUT1	2														
IN2	3														
ZP2	3														
OUT2	3														
IN3	4														
ZP3	4														
OUT3	4														
IN4	5														
ZP4	5														
OUT4	5														

Na przykład magazyn współpracuje tylko z wózkiem, co odzwierciedlone zostało w tablicy 6.

Tablica 6

MNEMONIK	GRUPA	M
M	0	
W	1	

W analizie funkcjonowania systemu ograniczono się do jednoczesnej współpracy dwóch obiektów, ponieważ w większości systemów, a w szczególności w CP TOR1, występuje tylko taka współpraca. Macierz przepływów $W[i,j]$ pozwala na analizę współpracy obiektów systemu poprzez możliwość wyboru czynności możliwych do wykonania na danym etapie. Czynności te determinują *obiekty przepływu*. Oznacza to, że analizuje się czynności, w których bierze udział *obiekt przepływu*, którego cykl pracy określa technologia.

4. Przykład funkcjonowania algorytmu

Dla przykładu wzięto pod uwagę obróbkę palety PAL. Jeżeli przy obróbce palety PAL obiekt j współpracuje z obiektem i ($W[i,j]=1$), to następną będzie czynność z udziałem obiektu i oraz obiektu k z i - tej kolumny macierzy, dla której wartość $W[i,k]=1$.

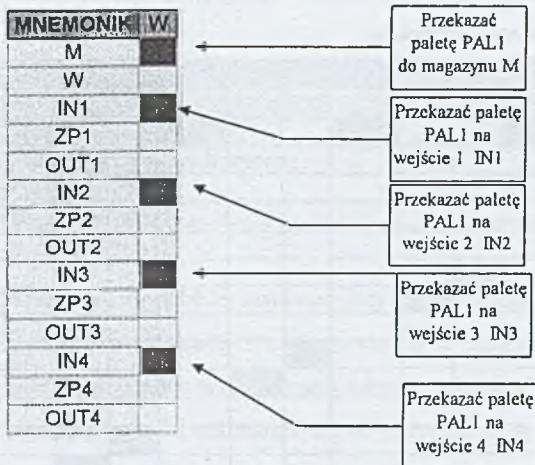
$$W[j,i]=1 \Rightarrow W[i,k]=1 \Rightarrow W[k,l]=1 \text{ itp.}$$

Rozważono kolejne czynności:

Magazyn M wydaje paletę PAL1 na wózek W . $W(2,1)=1$

Następną czynnością będzie: $W(x,2)$, gdzie $x \in \{1,3,6,9,12\}$

Oznacza to, że wózek W w następnej kolejności może :



Przekazanie palety do magazynu powinno być dozwolone zawsze, natomiast wybór wejścia INx określa technologia (tablica 1, obróbka na SZR),

MNEMONIK	GRUPA	W
M	0	

$W(1,2):$ PAL1, W-->M

Dla rozważanego przykładu, w kolejnym kroku dozwolona jest współpraca wózka W z wejściem $IN1$ (współpraca wózka W z grupą nr 2)

MNEMONIK	GRUPA	W
IN1	2	
ZP1	2	
OUT1	2	

$W(3,1):$ PAL1, W-->IN1

Wózek wykona kolejno czynności opisane relacjami:

- * $W(1,2)$, nastąpi współpraca obiektu nr 2 (W) z obiektem nr 1 (M), przy czym obiekt przepływu ($PAL1$) zostanie przekazany z W do M
- * $W(3,1)$: tzn. nastąpi współpraca obiektu nr 2 (W) z obiektem nr 3 ($IN1$), przy czym obiekt przepływu ($PAL1$) zostanie przekazany z W na $IN1$.

Następną możliwą do wykonania czynnością jest: $W(4,3)$

MNEMONIK	GRUPA	IN1
IN1	2	
ZP1	2	
OUT1	2	

$W(4,3):$ PAL1, IN1-->ZP1

Oznacza to, w tym przypadku, że element przepływu $PAL1$ może być przekazany z wejścia nr 1 $IN1$ na zmieniacz palet nr 1 $ZP1$.

Ponieważ ze zmieniaczem palet $ZP1$ związana jest obrabiarka, to kolejną czynnością będzie obróbka na SZR: $PAL1+PO\{0\}, SZR+ZP1*$:

SYSTEMY	MNEMONIK	GRUPA	OBRABIARK	INNE
CP-TOR1	M	0		
CP-TOR1	IN1	2		
SZR				
CP-TOR1	OUT1	2		

Po zakończonej obróbce paleta wraz z przedmiotem zostanie przekazana na wyjście *OUT1*:

$W(5,4)$: $PAL1+PO[1], ZP1 \rightarrow OUT1$

MNEMONIK	GRUPA	IN1
IN1	2	
ZP1	2	
OUT1	2	

Dalsza część analizy współpracy *obiektów statycznych* systemu

realizowana jest zgodnie z podanym wyżej algorytmem, tzn. z technologii wynika, jaka maszyna, a tym samym jaka grupa weźmie udział w dalszej obróbce.

Jeżeli określona zostanie funkcja celu, w tym przypadku zdeterminowana przez technologię, to algorytm analizy współpracy *obiektów statycznych* systemu funkcjonuje poprawnie, a ponadto stwarza możliwość automatycznego dołączania informacji technologicznej. Zaletą takiego zapisu współpracy jest również elastyczność w przypadku dynamicznej zmiany struktury systemu lub powiązań (np. transportowych) między obiektami oraz prostota w określeniu relacji między obiektami realizowanymi przez projektanta systemu. Projektant systemu znając jego strukturę zaznacza odpowiednie pola w tablicy informującej o możliwościach współpracy systemu ($m \times n$ - ilość obiektów, współpraca jednokierunkowa). Tablica ta stanowi podstawę do wygenerowania macierzy powiązań $W(i,j)$. Umożliwia również automatyczną zmianę nazw mnemotechnicznych, które, zapisane w tablicy, stanowią matrycę do dalszych rozważań. Opisany algorytm stanowi podstawę programu komputerowego generującego w sposób automatyczny dane wejściowe dla modułu sterującego ESP opartego na Modelu Macierzowym.

5. Podsumowanie

W ITMiAP Politechniki Krakowskiej opracowano oprogramowanie sterujące ESP oparte na modelu macierzowym. Przedstawione rozważania formułują problem automatycznego przygotowania niezbędnych danych dla systemu sterowania na podstawie informacji o procesie technologicznym i danych o systemie produkcyjnym. Temat ten rozpatrywano z wykorzystaniem sieci Petriego oraz metody cykli. Proponowane rozwiązanie oparto na metodzie macierzowej. Bazując na własnym algorytmie stworzono oprogramowanie, którego zapleczem jest relacyjna baza danych MS Access oraz uniwersalny język SQL (*Structured Query Language*) przeznaczony do operowania i sterowania relacyjnymi bazami danych.

LITERATURA

1. Bor C.R., Petitti M., Lombardi F.: *CAPP/CAM Expert System for a High Productivity, High Flexibility CNC Turning Center*. CIRP 1/1990
2. Cyklis J.: *Algorytm sterowania nadzorującego ESP*. Archiwum TBM, Komisja Technologii Budowy Maszyn PAN, Oddział w Poznaniu, z.8, Poznań 1990
3. Cyklis J.: *Algorytm symulacji ESP*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka z.96, 1988, s. 29-40
4. Cyklis J.: *An Application of Net Model for the Simulation of Discrete Production Systems*. Modelling, Simulation and Control, C, ASME Vol. 3, No 3, 1985, s. 33-45
5. Cyklis J, Krupa K.; *Algorytmizacja uzyskiwania modelu sterowania ESP*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Automatyka z.119, Gliwice 1996
6. Cyklis J., Krupa K.: *Określenie relacji między metodą cykli i metodą macierzową w modelowaniu elastycznych systemów produkcyjnych*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 1994, s. 51-60.
7. Cyklis J., Małopolski W.: *Sterowanie ESP w warunkach stopniowego rozwoju CIM*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 1996.
8. Cyklis J., Pierzchała W.: *Modelowanie procesów dyskretnych w Elastycznych Systemach Produkcyjnych*, Zeszyt naukowy nr 3, Politechnika Krakowska 1995, s. 77-99
9. 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
10. ElMaraghy Waguih H., ElMaraghy Hoda A.: *Bridging the Gap Between Process Planing and Production Planing and Control*. 24th International Seminar on Manufacturing Systems, s. 1-7, Copenhage 1992.
11. Gao J.X., Huang X.X.: *Product and Manufacturing Capability Modelling in an Integrated CAD/Process Planning Environment*. International Journal Advanced Manufacturing Technology 11/1996.
12. Lenau T.: *Integrating Process Planning with Product Design*. (Design/CAPP Integration) 24th International Seminar on Manufacturing Systems, s. 21 -34, Copenhagen 1992.
13. Piotrowski I.: *Doświadczalne centrum produkcyjne TOR*, Mechanik, nr 5 1977.

Recenzent: Dr hab.inż.Mirosław Zaborowski, prof.Pol.Śl.

Abstract

The software for FMS control based on Matrix Model In has been developed in the Production Engineering Institute (PEI) of Carcow University of Technology. The paper describes an algorithm for automated generation of the input data, based on the information about technology and the manufacturing system structure for FMS control system. The algorithm allows to change manufacturing information and the structure of the production system

in a dynamic way. In the past this problem has been considering using Petri Nets and the Cycle Method. The presented in this paper solution is based on the Matrix Model. The software for automated generation input data is based on an original algorithm. The program is prepared in MS Access