

Józef Chmiel

Politechnika Krakowska

## STEROWANIE KOMPUTEROWE MODUŁU AUTOMATYCZNEGO MAGAZYNOWANIA I TRANSPORTU PALET ESP

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję symulacji całości Elastycznego Systemu Produkcyjnego wraz z jednoczesnym sterowaniem jednego z jego modułów rzeczywistych. Stosowny przykład, ilustrujący metodę, opracowano dla systemu obróbkowego CP TOR-1 prod.CBKD, w którym przyjęto w charakterze sterowanego modułu podsystem magazynowania i transportu palet.

### 1. Wprowadzenie

Temat poniższego opracowania jest ściśle związany z zastosowaną w Instytucie Technologii Maszyn (ITM) PK, macierzową metodą modelowania elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) [1,2]. Model ESP, zbudowany w oparciu o tę metodę, może być wykorzystany zarówno w badaniach symulacyjnych, jak również w układach sterowania i nadzorowania systemów elastycznych [3].

Wynikiem przekształcanej w czasie rzeczywistym macierzy stanu są konkretne czynności (np. dostarczenie określonej palety z przedmiotami na daną obrabiarkę), przeznaczone do wykonania przez poszczególne elementy systemu (np. WÓZEK).

Podjętą próbę wykorzystania tych konkretnych decyzji w systemie rzeczywistym, skorzystano z tego, iż metoda macierzowa umożliwia podejście modułowe w odniesieniu zarówno do pojedynczych czynności, jak i elementów systemu.

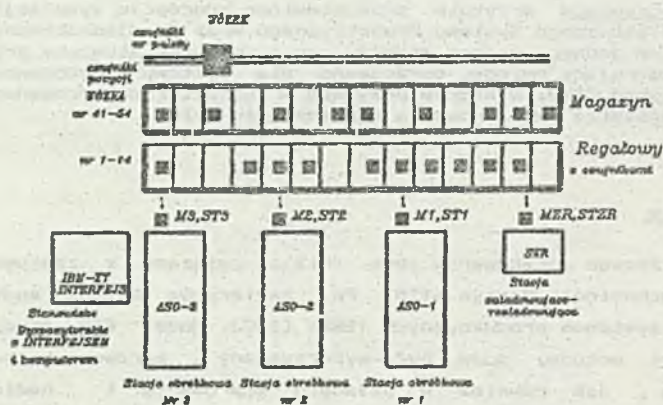
Jako obiekt rzeczywisty, który będzie podlegał sterowaniu, wybrano fragment Centrum Produkcyjnego TOR-1, będący na wyposażeniu ITM, a konkretnie Magazyn Regałowy wraz z WÓZKIEM służącym do jego obsługi. Elementy te jako całość mogą pełnić funkcję modułu Automatycznego Magazynu (AM) dla ESP. Takie wyodrębnienie modułu oznacza, iż w modelu będącym wzorcem systemu część czynności będzie wykonywana, natomiast część będzie symulowana.

Prace adaptacyjne (w ramach CPBR 02.04) istniejącego układu sterowania AM do sterowania komputerowego prowadzone były pod kątem zgodności z uniwersalnym interfejsem IEC-625. Struktura tego standardu oraz bogate oprogramowanie podstawowe umożliwiają budowę modułową systemu, co w

dalszej perspektywie pozwala na sterowanie dodatkowych modułów w oparciu o metodę macierzową.

## 2. Opis systemu rzeczywistego

System rzeczywisty CP TOR-1, którego system transportu podlegał będzie sterowaniu, przedstawiono na rys.1.



Rys.1 Schemat blokowy Centrum Producyjnego TOR-1.

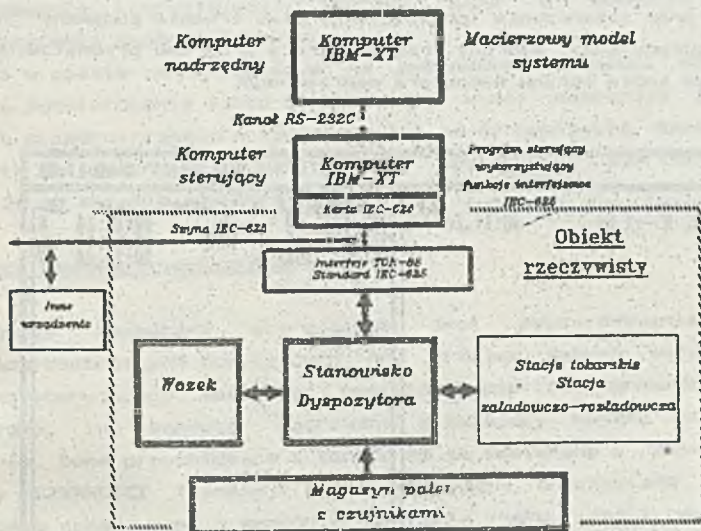
Fig.1 Diagram of TOR-1 layout

Trzy stacje obróbkowe (ASO-1, ASO-2, ASO-3) oraz stacja załadunkowo-rozładunkowa (SZR), powiązane są z Magazynem Regałowym, zawierającym po 14 stanowisk rozmieszczonych na "parterze" i na "piętrze". Do każdej obrabiarki przynależą po dwa stanowiska z parteru, tworząc magazyny buforowe (M1, M2, M3, MZR), oraz stoły (ST1, ST2, ST3, STZR). Wszystkie stanowiska mają adresy (liczby s(1..14) oraz s(41..54)). Przed rozpoczęciem każdego cyklu transportowego, do układu sterowania wózka wpisywana jest para adresów określających SKĄD i DOKĄD ma być przesłana paleta. Wszystkie stanowiska wyposażone są w indukcyjne czujniki obecności ponumerowanych palet. Numery palet, będące liczbami p(1..127), odczytywane są czujnikami znajdującymi się na WÓZKU. Innym atrybutem palety, wykorzystywanym przez program nadrzędny, jest jej pojemność rozróżniana nazwami PAL1, PAL2. Do identyfikacji pozycji WÓZKA służą czujniki indukcyjne rozmieszczone wzdłuż trasy. Wszystkie powyższe sygnały doprowadzone są do STANOWISKA DYSPOZYTORSKIEGO oraz do wykonanego interfejsu TOR-88, zapewniającego "zaprogramowanie", START oraz kontrolę pracy WÓZKA.

### 3. Opis pracy systemu

Strukturę hierarchiczną systemu przedstawiono na rys. 2.

Komputer nadrzędny połączony jest z komputerem sterującym łączem RS-232C. Komputer sterujący obsługuje urządzenia fizyczne poprzez równoległy interfejs IEC-625.



Rys. 2. Schemat blokowy sterowania komputerowego w CP TOR-1

Fig. 2. Computer control structure of CP TOR-1

Możliwa jest rozbudowa systemu na obu poziomach. Rozbudowa systemu na poziomie najwyższym prowadzi do zastosowania sieci stacji lokalnych. Na poziomie niższym możliwe jest dołączanie innych urządzeń spełniających wymogi standardu IEC-625 (np. urządzenia pomiarowe). Wykorzystano komputery klasy IBM PC XT/AT, jednakże możliwe jest zastosowanie dowolnych komputerów wyposażonych w interfejs IEC-625. Do obsługi zdarzeń zachodzących asynchronicznie wykorzystano mechanizm przerw sprzętowych od kanału RS-232C.

Program nadrzędny napisano w języku C, natomiast program sterujący w języku Turbo Pascal ver. 5.0 z wykorzystaniem procedur maszynowych obsługujących interfejs.

### 3.1. Praca systemu nadrzędnego

Macierzowy model ESP zbudowany jest z elementów (np. obrabiarek, WÓZKA) oraz wykonywanych przez te elementy czynności (np. transport palety). Dane o systemie zapisane są w dyskowym pliku konfiguracyjnym. Reagując na bieżąco na przychodzące zdarzenia [3], program dokonuje przekształceń, w wyniku których uzyskujemy konkretne czynności (ściślej - numery czynności) do wykonania. Nie wnikając w szczegóły, należy dodać, że każda czynność dostępna jest z przyporządkowanymi jej czasami rozpoczęcia oraz zakończenia (przewidywany czas trwania podawany jest w pliku konfiguracyjnym). Wybrany fragment pracy programu przedstawiono na rys.3 będącym kopią ekranu komputera nadrzędnego.

tor1 69x17 0-00:17.32					
Czynności oczekujące			Czynności wykonywane		
	Czas	Lk		Czas	Lk
40 PAL2, M --> M3	00:17.24	0	39 PAL2, M --> M2	00:18.24	0
			28 PAL2, OT --> STZR	00:19.14	1
			56 POL, TOKI *	00:20.44	0

Przerwanie-ISC FI-pomoc

Rys.3. Kopia ekranu komputera nadrzędnego.

Fig.3. Picture of a display of a master computer

W stosunku do czasu bieżącego podawane są czasy rozpoczęcia - widoczne po lewej części ekranu, oraz czasy zakończenia czynności, widoczne po prawej stronie ekranu. Zastosowano tu skrótowy zapis np. dla czynności nr 39, która polega na transporcie palety PAL2 z Magazynu M do obrabiarki M2 (TAX, adres:10), przewidywany termin zakończenia jest 00:18.24. Komputer nadrzędny generuje czynności dla całego CP TOR-1 zgodnie z jego konfiguracją (zapisaną w pliku dyskowym). Część z nich jest wykonywana (w AM), natomiast część jest symulowana. Numery czynności, które pojawiają się po prawej stronie (wykonywane) przeznaczone są do wykorzystania poprzez odebranie ich z kanału RS. Obsłudze w stacji lokalnej podlegają

tylko tzw. *czynności rzeczywiste* (dotyczące w tym konkretnym przypadku WÓZKA). Zewnętrznie widoczne jest to przez umieszczony znak (I) wykrzyknika przy numerze danej czynności np. 1 39. W takim przypadku system nadrzędny oczekuje na potwierdzenie (poprzez przysłanie tego numeru z powrotem) wykonania tej czynności. Dla pozostałych przypa<sup>tków</sup> fakt wykonania jest symulowany. Zaznaczając w pliku konfiguracyjnym interesujące nas czynności jako rzeczywiste, mamy wpływ na strukturę systemu, co jest istotne szczególnie w czasie uruchamiania lub rozbudowywania istniejącego systemu bądź w momencie dłuższego unieruchomienia danego elementu.

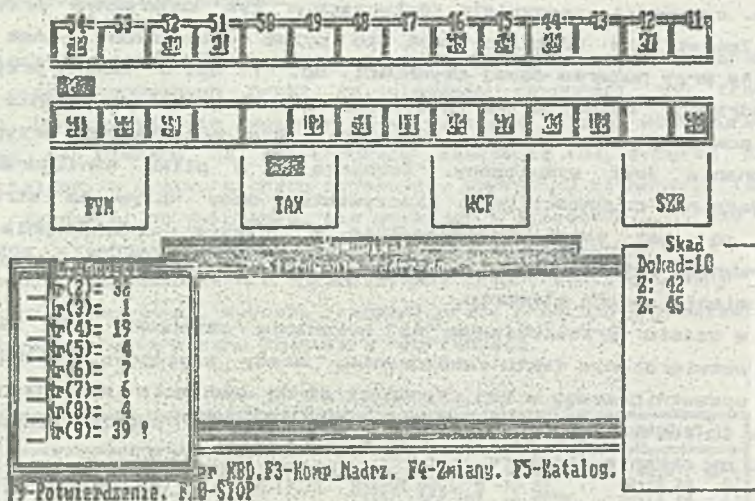
Jeśli w czasie przewidzianym na wykonanie czynności nie zostanie odebrane potwierdzenie faktu zakończenia, wtedy następuje zablokowanie elementu uczestniczącego w tej czynności aż do usunięcia uszkodzenia, a zdarzenie to zostanie zasygnalizowane operatorowi poprzez odpowiedni komunikat na ekranie monitora.

### 3.2. Praca systemu sterującego

Zadaniem komputera sterującego jest wypracowywanie sygnałów sterująco-kontrolnych dotyczących AM. Źródłem danych wejściowych dla programu sterującego może być operator, poprzez wprowadzenie ich z klawiatury, lub komputer nadrzędny wysyłający numery czynności do wykonania. Dane przychodzące z kanału RS są odbierane i zapamiętywane w tablicy CZYNNOSCI [count], przez procedurę uruchamianą przerwaniem sprzętowym generowanym w momencie odebrania znaku. Jeśli dana odebrana jest czynnością rzeczywistą dla systemu, to komputer rozpoczyna następujące postępowanie:

- kontrolowana jest poprawność danej;
- zgodnie z odebrany<sup>m</sup> poleceniem oraz stanem MAGAZYNU następuje uruchomienie procedury decyzyjnej odnośnie wartości adresów SKAD i DOKAD;
- generowany jest sygnał START, uruchamiający WÓZEK;
- aktywowana jest procedura wykorzystująca przerwanie zegarowe z parametrem proporcjonalnym do przewidywanego czasu trwania czynności;
- jeśli cykl transportowy zostanie wykonany, to komputer nadrzędny oczekujący na zakończenie czynności otrzyma potwierdzenie jej wykonania.

Dla ilustracji współpracy komputera nadrzędnego z komputerem sterującym przedstawiono na rys.4 kopię ekranu systemu sterującego, dotyczącą tej samej chwili, którą pokazano na rys.3.



Rys. 4. Kopia ekranu komputera sterującego

Fig. 4. Picture of a display of control terminal

Odebrane polecenia wraz z numerem kolejnym widoczne są w oknie CZYNNOSCI. W odpowiedzi na czynność nr 39 komputer podał w oknie SKAD dwie możliwości: adres 42 i adres 45. Wybraniu do zaprogramowania WÓZKA jako SKAD podlega adres 45, zapewniający krótszy czas wykonania transportu do M2 (DOKAD= 10). Pod adresem 45 znajduje się paleta o numerze 54.

Na rysunku tym pokazano także MAGAZYN wypełniony paletami, WÓZEK oraz obrabiarki. Stan AM pamiętany jest w pliku dyskowym uaktualnianym po wykonaniu każdego cyklu transportowego i wczytywany w momencie uruchomienia programu. Niezależnie od tego można wprowadzać zmiany w AM poprzez użycie klawiatury.

Zmianom podlegają parametry z następującego recordu:

- adres w magazynie;
- numer palety;
- typ palety (pojemność);
- liczba wałków do obróbki;
- liczba wałków obrabionych;

Stan AM scharakteryzowany jest zestawem takich recordów dotyczących oprócz pozycji w magazynie, także WÓZKA i stołów ST.

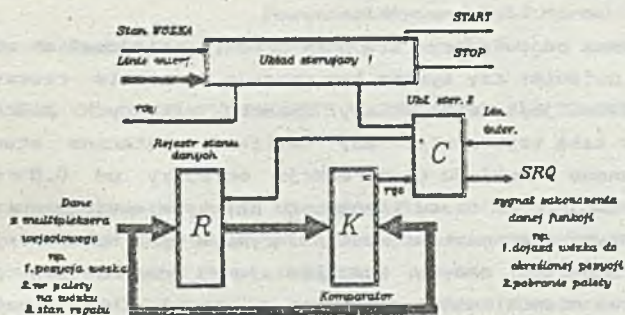
#### 4. Opis interfejsu

Dla zapewnienia komunikacji pomiędzy komputerem a obiektem

rzeczywistym wybrano standardowy, uniwersalny, równoległy interfejs IEC-625 [4]. Komputer, poprzez zainstalowaną w nim kartę wraz z procedurami maszynowymi, pełni funkcję interfejsową CONTROLER, ustalając konfigurację systemu, tzn. adresuje urządzenia do nadawania i odbierania danych oraz reaguje na zgłaszane żądania obsługi. Wykonany w laboratorium interfejs TOR-88 do AM posiada następujące funkcje:

- nadawca T5 (SH1);
- odbiorca L3 (AH1);
- żądanie obsługi SR1;
- zdalny/lokalny RL1;
- wyzwalenie, zerowanie urządzenia DT1, DC1;

Na przykładzie generowania sygnału żądania obsługi (SRQ), wykorzystywanego do sygnalizacji zakończenia czynności, omówiona zostanie praca interfejsu. Na rys 5. przedstawiono schematycznie sposób uzyskania sygnału SRQ.



Rys.6 Moduł generowania sygnału SRQ  
Fig.5. SRQ generation module.

Równoległe z wysłaniem adresu DOKĄD odpowiednio ustawione zostają multipleksery wejściowe, tak iż do rejestru R wpisany zostaje stan właściwego fragmentu magazynu. Wartość ta podawana jest na jedno wejście komparatora K. Do drugiego wejścia tego komparatora doprowadzone są dane aktualne, które ulegają zmianie w momencie oddania palety. Powoduje to zmianę stanu na wyjściu "=" komparatora tworząc sygnał rqs, co w konsekwencji daje sygnał interfejsowy SRQ, zgłaszający asynchronicznie zapotrzebowanie na obsługę przez CONTROLER. Po sprawdzającym odczycie danych możliwe jest wysłanie do komputera nadrzędnego sygnału potwierdzającego wykonanie czynności. W podobny sposób kontrolowana jest pozycja WÓZKA oraz numer palety znajdującej się na WÓZKU.

### 5. Testowanie

Tworzenie i uruchamianie programów pracujących w czasie rzeczywistym jest procesem trudnym i pracochłonnym, a jednocześnie wymagana jest pewność działania systemu. Konieczne jest więc dokonanie weryfikacji poprawności działania. Dla omawianego układu przeprowadzono następujące próby:

- analizowano pliki wygenerowane przez program nadrzędny i program sterujący, zawierające zestawy wszystkich czynności, które pojawiły się w systemie. Oceniono w ten sposób zarówno poprawność wymiany informacji pomiędzy komputerami, jak też logiczną poprawność sekwencji czynności;
- symulując (na komputerze sterującym) pracę obiektu rzeczywistego, badano (zmieniając czas opóźnienia odpowiedzi potwierdzającej wykonanie czynności) czas reakcji programu nadrzędnego na asynchroniczne zdarzenia. Dla komputera nadrzędnego typu IBM PC/XT z zegarem 4.77 Mhz czas ten wynosił ok 0.8 s.

Podstawowym problemem pojawiającym się przy próbach sterowania obiektem rzeczywistym jest pytanie: czy system ten pracuje w czasie rzeczywistym?

Odpowiedź pozytywna jest wtedy, gdy obróbka zmiennych procesowych realizowana jest z taką szybkością, aby umożliwić skuteczne sterowanie procesem. Dla omawianego przykładu czas reakcji mniejszy od 0.8 s jest wystarczający w porównaniu do czasu transportu palety większego niż 30s. Podobnie jest z innymi czynnościami występującymi w ESP. Rzbudowie należy poddać protokół transmisji danych, umożliwiając wcześniejsze podanie odpowiedzi dotyczącej niemożliwości wykonania czynności (bez oczekiwania przewidywanego czasu jej trwania).

### 6. Zakończenie

Przeprowadzone próby sterowania modułem ESP, z jednoczesną symulacją pozostałych elementów systemu, wykazały przydatność metody modelowania macierzowego do pracy w czasie rzeczywistym. Ważną cechą tego podejścia jest modułowość (dotycząca czynności, a pośrednio także modułów) istotna zwłaszcza podczas uruchamiania systemu. Łatwość modelowania, związana z przyjęciem fizycznie występujących zdarzeń jako komponentów systemu, ułatwia weryfikację metody w obiekcie rzeczywistym. Zastosowanie interfejsu IEC-625 umożliwia proste konfigurowanie systemu, w którym moduły mogą być zarówno odbiorcami, jak też nadawcami danych związanych z ich pracą.



## LITERATURA

- [1] Cyklis J.: Symulacja elastycznych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem macierzy stanu. V Krajowa Konferencja Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych. Kozubnik 1986.
- [2] Cyklis J.: Towards Simple Simulation of FMS. Monografie Politechniki Krakowskiej, nr 58, Kraków 1987.
- [3] Cyklis J.: Algorytm symulacji ESP. Referat zgłoszony na VI Krajową Konferencję Automatyzacji Dyskretnych Procesów Przemysłowych. Kozubnik 1988.
- [4] System interfejsu dla programowanej aparatury pomiarowej. PN-83/T-06536. Wydawnictwa Normalizacyjne "ALFA".
- [5] Kasprzak B.: Interfejs IEC-625 dla przyrządów pomiarowych. Elementy półprzewodnikowe i układy scalone. Zastosowania Układy cyfrowe. PIE nr 1, 1985.

Recenzent: Doc.dr h.inż.F.Marecki

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

## COMPUTER CONTROL OF AUTOMATIC PALLETS WAREHOUSING AND TRANSPORTING FOR FMS

## S u m m a r y

In the paper a method of the simulation of a flexible manufacturing system is presented together with simultaneous control of one of its modules. A proper example illustrating the method has been elaborated for the Polish system CP TOR-1 in which the store and the transport system of the pallet has been assumed a controlled module.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОДУЛЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО СКЛАДИРОВАНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ СКИДОВ ППС

## Р е з ю м е

В работе представлена идея симуляции ППС с одновременным управлением одним из ее модулей. Соответствующий пример, поясняющий метод, составлен для польской системы CP TOR-1 в которой принята в качестве управляющего модуля подсистема складирования и транспортировки скидов.