

Jerzy Cyklis
Józef Chmiel

Politechnika Krakowska

METODA ŁĄCZENIA OBIEKTÓW RZECZYWISTYCH Z SYMULOWANYMI W ESP
THE METHOD OF JOINING THE REAL OBJECTS OF FMS WITH SIMULATED ONES
DIE METHODE DER VERBINDUNG DER REALEN UND SYMULIERTEN OBJEKTE IM FMS

Streszczenie: Na podstawie modelu macierzowego podano teoretyczne warunki współpracy obiektów rzeczywistych z symulowanymi w ESP. Metoda może znaleźć zastosowanie dla uruchamiania wybranych podsystemów złożonego systemu produkcyjnego.

Summary: On the basis of matrix model the theoretical conditions of joining real objects with simulated ones are described. The method can be used for putting into the action chosen subsystems of the complex production system.

Zusammenfassung: Auf der Basis der Matrixmethode werden die theoretischen Bedingungen der Verbindung der realen und simulierten Objekte im FMS beschrieben. Diese Methode kann man während des Inangrsetszens des gewählten Teiles des ganzen Systems anwenden.

1. Wstęp

Uruchamianie złożonych Elastycznych Systemów Produkcyjnych wymaga wielu działań związanych z niezawodnym działaniem sprzętu i oprogramowania. Jedną z podstawowych stosowanych metod jest kolejne sprawdzanie działania poszczególnych części systemu, aby następnie połączyć je w jedną wspólną całość. Powstaje pytanie, w jaki sposób można wyodrębnić z całości systemu niektóre elementy, tak aby dokonać prób nie powodując przy tym ich kolizji, wynikłych z braku powiązania z innymi, aktualnie wyłączonymi obiektami systemu. Przedstawiona tutaj praca stwarza możliwości racjonalnego podejścia do tego problemu, umożliwiając sprawdzenie rzeczywistego działania poszczególnych części systemu, jak również oprogramowania dla jego całości. Będzie ona oparta na Macierzowym Modelu ESP [1] oraz wyodrębnionej jego części dla sprawdzanego podsystemu rzeczywistego. Metoda ta może znaleźć również zastosowanie przy rozbudowie istniejących już ESP.

2. Opis metody

Opis Macierzowej Metody modelowania został umieszczony w artykule [5] niniejszej konferencji. W metodzie tej występują obiekty o numeracji $k=1..K$, których zbiór oznaczamy przez $\langle k \rangle$ oraz tzw. elementarne czynności $j=1..J$, których zbiór oznaczono odpowiednio przez $\langle j \rangle$. Dla celu podanego we wstępie niniejszego artykułu, dla każdego obiektu k oraz dla każdej czynności j wprowadza się dodatkowy atrybut r , odpowiadający elementowi lub czynności rzeczywistej. Analogicznie wprowadza się atrybut s dla obiektów i czynności symulowanych. Zbiór wszystkich obiektów rzeczywistych oznaczono $\langle rk \rangle$, czynności rzeczywistych przez $\langle rj \rangle$ oraz odpowiednio $\langle sk \rangle$ i $\langle sj \rangle$ dla obiektów i czynności symulowanych.

Powstaje system hybrydowy, w którym część obiektów i czynności jest rzeczywistych, a część symulowanych, przy czym prawdziwe są zależności:

$$\begin{aligned} \langle s_j \rangle \cup \langle r_j \rangle &= \langle j \rangle & /1/ \\ \langle s_k \rangle \cup \langle r_k \rangle &= \langle k \rangle \end{aligned}$$

Przy tak wprowadzonym zapisie istota problemu polega na zapytaniu, jakie warunki muszą być spełnione, by zdefiniowany powyżej system hybrydowy mógł pracować nie powodując kolizji w swojej części rzeczywistej. Pierwszy typ warunków wynika z faktu, że czynności rzeczywiste mogą wykonywać tylko obiekty rzeczywiste.

Oznaczmy zbiór obiektów używanych w czynności j przez $\langle U(j) \rangle$. Obowiązują następujące reguły:

- (1) $s_k \in \langle U(r_j) \rangle$
- (2) $r_k \in \langle U(r_j) \rangle$
- (3) $s_k \in \langle U(s_j) \rangle$
- (4) $r_k \in \langle U(s_j) \rangle$

Zależność (1) powiada, że żaden obiekt symulowany (nie występujący w rzeczywistości) nie może należeć do zbioru obiektów, które biorą udział w czynności rzeczywistej. Warunek (2) powiada, że obiekt rzeczywisty może należeć do zbioru obiektów używanych w czynności rzeczywistej. Warunki (3) i (4) powiadają, że do zbioru obiektów należących do obiektów używanych w czynności symulowanej mogą należeć zarówno obiekty symulowane, jak również rzeczywiste.

Warunki powyższe nie są wystarczające do opisanie poprawnego działania zdefiniowanego powyżej systemu hybrydowego. Dla czynności symulowanych $\langle s_j \rangle$ wystarczą dodatkowe warunki wynikające z Modelu Macierzowego, opartego na analizie zbioru wyjść $OS(j,k)$ i wynikającej z nich macierzy stanu $S_{jk}(i)$.

Inaczej przedstawia się sprawa dla zbioru czynności rzeczywistych $\langle r_j \rangle$. Dla czynności tych muszą być spełnione warunki wynikające z macierzy stanu $S_{jk}(i)$, ale ponadto dodatkowe warunki wynikające z analizy rzeczywistego stanu badanego podsystemu, tzn. takiego, w którym występują wyłącznie zbiory rzeczywiste $\langle r_j \rangle$ i $\langle r_k \rangle$. Należy więc utworzyć zbiory wyjść dla systemu rzeczywistego oznaczone $ROS(r_k, r_j)$ i na ich podstawie wyznaczyć macierz stanu $RS_{jk}(i)$.

W opisaney niżej metodzie proponuje się, aby macierz $RO_{jk}(i)$ deklarować dla całego systemu, przed przystąpieniem do decyzji, które z obiektów i czynności będą symulowane. Ułatwi to późniejsze włączenie poszczególnych części systemu poprzez deklaracje odpowiednich atrybutów s i r .

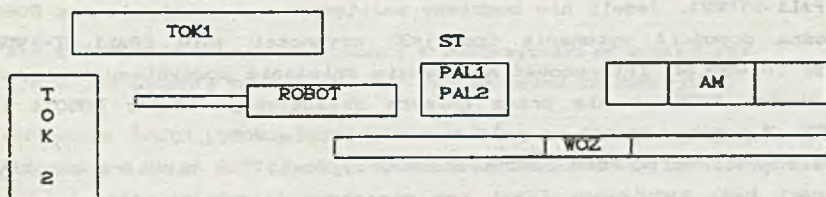
W zbiorach $ROSCr_k, r_j$) znajduje się z reguły więcej czynności wychodzących niż w zbiorach $OSC(j, k)$. Wynika to z faktu dodatkowych możliwości bezkolizyjnego działania systemu, niż przewiduje to prawidłowy proces technologiczny, i tak np. dla przedmiotu, który zamierzamy obrabiać po zamocowaniu go na obrabiarce, następną czynnością powinna być jego obróbka. Można się zdecydować, że obróbka będzie symulowana i w związku z tym po założeniu na obrabiarce przedmiot będzie oddany z powrotem na paletę. Taka sytuacja może wystąpić, gdy chcemy sprawdzić poprawność działania systemu transportu a nie obróbki. Można więc ogólnie napisać:

$$OSC(j, k) \subseteq ROSC(r_j, r_k).$$

Program będzie więc działał następująco:

1. Należy zadeklarować macierz $OSC(j, k)$ zgodnie z Metodą Macierzową;
2. Należy zadeklarować macierz $ROSC(j, k)$ obejmującą dodatkowe możliwości bezkolizyjnego działania;
3. Dokonać wyboru obiektów i czynności symulowanych i rzeczywistych. Program wyznaczy macierz, która będzie dotyczyła tylko obiektów rzeczywistych $ROSC(r_j, r_k)$;
4. Praca programu sterującego polegać będzie na tym, że całość systemu jest symulowana w oparciu o $OSC(j, k)$, natomiast jego część rzeczywista na podstawie $ROSC(r_j, r_k)$.

Proponowany sposób zapewni obserwację całości systemu, jak również poprawne działanie wyodrębnionej części rzeczywistej.



Rys.1. Model systemu.

Fig.1. Structure of the system

3. Opis przykładu

Jako przykład analizowanej metody rozważono system przedstawiony na rys.1. Składa się on z ROBOTY obsługującego dwie tokarki TOK1 i TOK2, stołu ST dla palet PAL1 i PAL2 oraz wózka WÓZ, transportującego palety z magazynu AM. Na paletce PAL1 znajdują się przedmioty obrabiane PO1, a na paletce PAL2 odpowiednio PO2. Wszystkie obiekty, które występują w systemie, przedstawiono w tabelicy 1 i ponumerowano $k = 1..10$. Elementarne czynności, które wykonuje system, podano w tabelicy 1 i ponumerowano $j = 1..22$. Przy zapisie czynności napis $PO1, PAL1 \rightarrow TOK1$ oznacza dostarczenie przedmiotu PO1 z palety PAL1 na tokarkę TOK1, natomiast $PO1, TOK1$ oznacza obróbkę przedmiotu PO1 na tokarce TOK1. Ogólnie pierwszy element zapisu podlega operacji transportu lub transformacji podanej po przecinku.

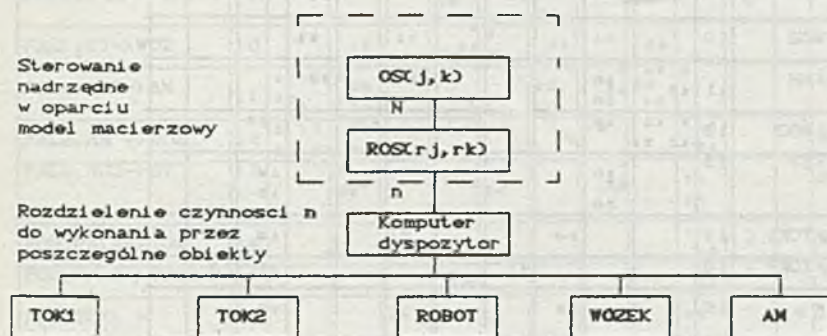
Podane w macierzy zbiory wyjść $OS(j, k)$ przedstawiają, jak stwierdzono wyżej, operacje, które powinny odbywać się w trakcie pracy systemu. Zgodnie z wyżej opisaną metodą do powyższych zbiorów należy dopisać te czynności, które mogą być wykonywane nie powodując kolizji systemu, mimo że ich wykonanie z punktu widzenia procesu produkcyjnego jest nieuzasadnione. W ten sposób powstaje następną macierz wyjść $ROS(j, k)$ przedstawiona w tabelicy 2. Przykładowo dla $k = 8$ (PO1) normalny ciąg produkcyjny przewiduje, że po czynności $j = 4$ ($PO1, PAL1 \rightarrow TOK1$) powinna nastąpić czynność $j=6$ ($PO1, TOK1$). Natomiast jeśli zdecydowaliśmy, że nie będzie wykonywana obróbka, to istnieje możliwość wykonania po $j=4$ czynności $j=8$ tzn. ($PO1, TOK1 \rightarrow PAL1$). Sytuacja taka może nastąpić, jeśli interesuje nas sprawdzenie funkcjonowania transportu a nie procesu obróbki. Podobna sytuacja może wystąpić dla $k=8$ (PO1) i czynności $j=3$ ($PAL1, WÓZ \rightarrow ST$), po której należałoby wykonać czynność $j=4$ ($PO1, PAL1 \rightarrow TOK1$) lub $j=5$ ($PO1, PAL1 \rightarrow TOK2$). Jeżeli nie będziemy zainteresowani uruchomieniem ROBOTY, to można dopuścić wykonanie (po $j=3$) czynności $j=10$ ($PAL1, ST \rightarrow WÓZ$). Wystąpi to wtedy, gdy interesować nas będzie działanie podsystemu transportu za pomocą WÓZKA, a nie praca gniazda składającego się z ROBOTY i 2 TOKAREK. W podobny sposób uzupełniono całą tabelę $ROS(j, k)$.

W zależności od potrzeb będzie można przyjmować, że niektóre obiekty i czynności będą symulowane (fakt ten oznaczono literą s w tabeli 2). W rozpatrywanym przypadku przyjęto, że nie będą wykonywane czynności $j=6, 7, 16, 17$ (OBRÓBKA) oraz że obiekty $k=4, 7, 9$ nie istnieją w rzeczywistości (są symulowane).

Dalsze działanie polega na wykreśleniu z systemu rzeczywistego tych czynności, które zdecydowano symulować ($j=6, 7, 16, 17$), a także tych czynności, które zgodnie z warunkami /2/ nie mogą być rzeczywiste, ponieważ występują w nich obiekty symulowane. Fakt ten zaznaczono symbolem s1. Ze zbioru wyjść $ROS(j, k)$ muszą zniknąć te czynności, które są symulowane z wyżej wymienionych względów

Opisaną operację można wykonać automatycznie wykorzystując algorytm skreśleń opisany w artykule [5] niniejszej konferencji. W efekcie otrzymuje się macierz systemu rzeczywistego $ROS(r_j, rk)$ podaną w tabeli 3. Może ona służyć jako podstawa zbudowania sterownika układu rzeczywistego nie powodującego jego kolizji ze względu na to, że wcześniej w $OS(j, k)$ zadeklarowano takie zbiory wyjść, które to zapewniają. Tablica ta daje możliwość sprawdzenia pracy części systemu. Inną część systemu można sprawdzić przyjmując odpowiednie deklaracje atrybutu s dla obiektów i czynności.

Sposób wykorzystania zbioru wyjść $ROS(r_j, rk)$ do sterowania analizowanym systemem przedstawiono na rys.2 Omawiane zbiory wyjść $OS(j, k)$ i $ROS(r_j, rk)$ mogą być umieszczone w tym samym bądź w różnych komputerach. Generowane czynności N w oparciu o pełną konfigurację $OS(j, k)$ są filtrowane do n przez $ROS(r_j, rk)$. Czynności n są wykorzystywane do sterowania.



Rys.2. Przykład układu sterowania z wykorzystaniem $ROS(r_j, rk)$

Fig.2. The example of the control system based on $ROS(r_j, rk)$

Do sterowania można także wykorzystać numery czynności n generowane tylko w oparciu o zbiór $ROS(r_j, rk)$. System będzie pracował bezkolizyjnie (umożliwiając testowanie).

Układ przedstawiony na rys.2 jest aktualnie uruchamiany w Instytucie Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej. Obiektami składowymi tego systemu są minitokarki COMPACT SPC firmy EMCO oraz robot przemysłowy RV-MI firmy MITSUBISHI.

Zbiór wyjść OSK(j, k)

Tabela 1

| Obiekt | | AM | WOZ | TO1 | TO2 | ST | PA1 | PA2 | PO1 | PO2 | ROB |
|------------------|-------|---|---|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Czynność | j^k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Start | 1 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | # |
| PAL1, AM → WOZ | 2 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | 3 | | | | 6 | | 8 | | |
| PAL1, WOZ → ST | 3 | | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | 10 | 10 | | 4 | | |
| PO1, PAL1 → TOK1 | 4 | | | 6 | | | | | 6 | | # |
| PO1, PAL1 → TOK2 | 5 | | | | 7 | | | | 7 | | # |
| PO1, TOK1 = | 6 | | | 8 | | | | | 8 | | |
| PO1, TOK2 = | 7 | | | | 9 | | | | 9 | | |
| PO1, TOK1 → PAL1 | 8 | | | 4 | | | | | 10 | | # |
| WP1, TOK2 → PAL1 | 9 | | | | 5 | | | | 10 | | # |
| PAL1, ST → WOZ | 10 | | 11 | | | 9 | 11 | | 11 | | |
| PAL1, WOZ → AM | 11 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | | 22 | | 22 | | |
| PAL2, AM → WOZ | 12 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | 13 | | | | | 13 | | 13 | |
| PAL2, WOZ → ST | 13 | | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | 20 | | 20 | | 14 | |
| PO2, PAL2 → TOK1 | 14 | | | 16 | | | | | | 16 | # |
| PO2, PAL2 → TOK2 | 15 | | | | 17 | | | | | 17 | # |
| PO2, TOK1 = | 16 | | | 18 | | | | | | 18 | |
| PO2, TOK2 = | 17 | | | | 19 | | | | | 19 | |
| PO2, TOK1 → PAL2 | 18 | | | 4 | | | | | | | # |
| PO2, TOK2 → PAL2 | 19 | | | | 5 | | | | | | # |
| PAL2, ST → WOZ | 20 | | 21 | | | 9 | 10 | | 21 | 21 | |
| PAL2, WOZ → AM | 21 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | | | 22 | | 22 | |
| END | 22 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |

OSK(j, 10) = {4, 5, 8, 9, 14, 15, 18, 19}, j = 1, 4, 5, 8, 9, 14, 15, 18, 19.

Zbiór wyjść ROS(j, k)

Tabela 2

| Obiekt | j ^k | s | | | s | | | s | | | ROB | |
|------------------|----------------|---|--|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-----|--|--|-----|------|
| | | AM | WOZ | TO1 | TO2 | ST | PA1 | PA2 | PO1 | PO2 | | |
| Czynności | j ^k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Start | 1 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | # | |
| PAL1, AM → WOZ | 2 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 3 \\ 11 \end{matrix}$ | | | | $\begin{matrix} 8 \\ 11 \end{matrix}$ | | $\begin{matrix} 9 \\ 11 \end{matrix}$ | | | |
| PAL1, WOZ → ST | 3 | | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | 10 | 10 | | $\begin{matrix} 4 \\ 5 \\ 10 \end{matrix}$ | | | |
| PO1, PAL1 → TOK1 | 4 | | | $\begin{matrix} 6 \\ 8 \end{matrix}$ | | | | | $\begin{matrix} 6 \\ 8 \end{matrix}$ | | # | |
| PO1, PAL1 → TOK2 | 5 | | | | 7 | 7 | | | 7 | | # | s1 |
| PO1, TOK1 # | 6 | | | 8 | | | | | 8 | | | s |
| PO1, TOK2 # | 7 | | | | 7 | 7 | | | 7 | | | s s1 |
| PO1, TOK1 → PAL1 | 8 | | | 4 | 14 | | | | 10 | | # | |
| PO1, TOK2 → PAL1 | 9 | | | | 5 | 15 | | | 10 | | # | s1 |
| PAL1, ST → WOZ | 10 | | 11 | | | $\begin{matrix} 8 \\ 13 \end{matrix}$ | 11 | | 11 | | | |
| PAL1, WOZ → AM | 11 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 & 20 \end{matrix}$ | | | | 22 | | 22 | | | |
| PAL2, AM → WOZ | 12 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 13 \\ 21 \end{matrix}$ | | | | | 13 | | 13 | 21 | s1 |
| PAL2, WOZ → ST | 13 | | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 \\ 20 \end{matrix}$ | | | 20 | | 20 | | 14 | 15 | s1 |
| PO2, PAL2 → TOK1 | 14 | | | $\begin{matrix} 16 \\ 18 \end{matrix}$ | | | | | | $\begin{matrix} 16 \\ 18 \end{matrix}$ | # | s1 |
| PO2, PAL2 → TOK2 | 15 | | | | $\begin{matrix} 17 \\ 19 \end{matrix}$ | | | | | $\begin{matrix} 17 \\ 19 \end{matrix}$ | # | s1 |
| PO2, TOK1 # | 16 | | | 18 | | | | | 18 | | | s s1 |
| PO2, TOK2 # | 17 | | | | 19 | | | | 19 | | | s s1 |
| PO2, TOK1 → PAL2 | 18 | | | 4 | 14 | | | | | | # | s1 |
| PO2, TOK2 → PAL2 | 19 | | | | 5 | 15 | | | | | # | s1 |
| PAL2, ST → WOZ | 20 | | 21 | | | $\begin{matrix} 9 \\ 10 \end{matrix}$ | | 21 | | 21 | | s1 |
| PAL2, WOZ → AM | 21 | $\begin{matrix} 2 & 11 \\ 12 & 21 \end{matrix}$ | $\begin{matrix} 2 & 10 \\ 12 \\ 20 \end{matrix}$ | | | | | 22 | | 22 | | s1 |
| END | 22 | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

OSC(j, 10) = {4, 5, 8, 9, 14, 15, 18, 19}, j = 1, 4, 5, 8, 9, 14, 15, 18, 19.

Tabela 3

Zbiory wyjść ROS(rj, rk)

| Obiekt | | AM | WOZ | TOK | ST | PAL | POI | ROB |
|------------------|-------|-----------------|-----------------|-----|----|-----|-----|-----|
| Czynności | j^k | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| Start | 1 | ² 11 | ² 10 | 4 | 3 | 2 | 2 | # |
| PAL1, AM → WOZ | 2 | ² 11 | 3 | | | 3 | 3 | |
| PAL1, WOZ → ST | 3 | | ¹⁰ | | 10 | 10 | 4 | |
| POI, PAL1 → TOK1 | 4 | | | 2 | | | 3 | # |
| POI, TOK1 → PAL1 | 8 | | | 4 | | | 10 | # |
| PAL1, ST → WOZ | 10 | | 11 | | 3 | 11 | 11 | |
| PAL1, WOZ → AM | 11 | ² 11 | ² 10 | | | 22 | 22 | |
| END | 22 | | | | 1 | 1 | 1 | |

 $r = \text{OSC}(j, 10) = \langle 4, 8, 9, 18 \rangle$, $j = 1, 4, 8, 18$.

LITERATURA

- [1] Cyklis J.: Symulacja elastycznych systemów produkcyjnych z wykorzystaniem macierzy stanu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z.85, Gliwice 1986, 57-64.
- [2] Chmiel J.: Sterowanie komputerowe modułu automatycznego magazynowania i transportu palet ESP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z.101, Gliwice 1990, 55-64.
- [3] Cyklis J.: Algorytm symulacji ESP. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z.96, Gliwice 1988, 29-40.
- [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., Czuba R.: Przygotowanie danych do symulacji dużych elastycznych systemów produkcyjnych przy użyciu modelu macierzowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z.110, Gliwice 1992.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

Abstract: The so called hybrid (H) systems are considered consisting of: real objects {rk} controlled in the real time and simulated objects {sk}. The activity performed by the hybrid system can be also real {rj} and simulated {sj} ones. The hybrid system (H) occurs when some subsystems a complex production system are put into the action by the step-by-step method. In this case the question is what the conditions must be fulfilled in the aim to avoid the collisions in the real part of the system. In the paper on the basis matrix model the theoretical conditions are described for which the real activity {rj} can be performed. The example of a simple FMS has been shown.