

Jolanta SZADKOWSKA - SKRZYPICIEL
Politechnika Krakowska

STEROWANIE PODSYSTEMU TRANSPORTU ESP Z WÓZKAMI SAMOJEZDNYMI

Streszczenie: Opracowano model funkcjonalny podsystemu transportu EPS mogący współpracować z istniejącymi modelami nadrzędnymi opartymi na dowolnych metodach oraz algorytm sterowania pracą takich podsystemów. Dzięki przyjętemu algorytmowi, transport realizuje zlecenia sterowania nadrzędnego nie dopuszczając do zablokowania systemu.

CONTROL OF FMS TRANSPORTATION SUBSYSTEM WITH SELF GUIDED VEHICLES

Summary: In the paper a functional model of a transportation subsystem of FMS enabling realization of any task ordered by the host computer is presented. The model can cooperate with any existing superior model based on optimal methods. A control algorithm of subsystems of this type is also described. Application of the algorithm presents system collisions.

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ПОДСИСТЕМОЙ СИСТЕМЫ ГПС С САМОЕЗДНЫМИ ТЕЛЕЖКАМИ

Резюме: Разработаны функциональная модель транспортной подсистемы ГПС, которая может взаимодействовать с существующими высшими моделями основанными на любых методах и алгоритм управления работой такой подсистем. Благодаря принятому алгоритму, транспорт реализует высшие команды управления не допуская блокировки системы.

1. Wstęp

Praca poświęcona jest symulacji systemu transportowego z wózkami jezdnyimi sterowanymi automatycznie tzw. "robocarami" (ang. AGV). Transport tego typu występuje w elastycznym (ESP), jak również w innych systemach produkcyjnych. Transport jest podsystemem całego systemu produkcyjnego, musi więc spełniać wszelkie zlecenia sterowania nadrzędnego. Zaprezentowany w pracy [1] model symulacyjny podsystemu transportowego

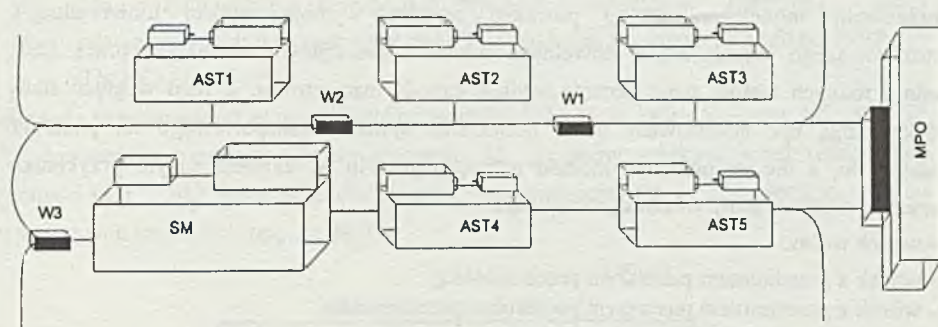
umożliwia realizację wytyczonych zadań. Może on współpracować z istniejącymi modelami nadrzędnymi niezależnie od przyjętej metody do opracowywania tych modeli. W pracy [1] jako jeden z możliwych systemów nadrzędnych rozpatrzono model macierzowy - rozdz. 1. Zaproponowany algorytm sterowania pracą wózków umożliwia to, że transport dość szybko reaguje na napływające zgłoszenia, skutecznie je realizując - rozdz. 2.

2. Jednoczesna symulacja działania ESP i podsystemu transportu

Aby wykazać możliwość współpracy opracowanego modelu podsystemu transportu z modelami nadrzędnymi przeprowadzono próbę komputerowego sterowania modułu transportu. Dokonano połączenia dwóch modeli symulacyjnych elastycznego systemu produkcyjnego, tak aby symulacja systemu transportu była skutkiem poleceń systemu nadrzędnego. Jako model nadrzędny przyjęto model macierzowy (MM). W MM wyszczególniono podsystem transportu jako jedną całość nie rozbijając go na poszczególne środki transportu. Wśród obiektów systemu nie wyróżnia się wózków w_i lecz jedynie ogólnie transport T, traktując go jako jeden obiekt systemu. To podsystem T jako jeden z obiektów uczestniczy w czynnościach transportowych, a nie wózki w_i . Na etapie MM zrezygnowano z ich wyszczególnienia aby dowolnie sterować nimi w podsystemie. Stąd celowe było wypracowanie zmodyfikowanego zapisu w systemie nadrzędnym polegającego na tym, żeby nie sterował on bezpośrednio poszczególnymi wózkami, ale wydawał rozkazy dla zintegrowanego systemu transportowego w postaci numeru czynności transportowej. Opracowany model podsystemu transportowego ESP zamieszczony w pracy [1] umożliwił zbudowanie takiego programu, będącego częścią programu symulującego transport, który pozwolił na współpracę MM (nadrzędnego) z modelem modułu transportu. W istocie współdziałanie to polega na tym, że z systemu nadrzędnego jest kierowane polecenie wykonania określonej czynności transportowej do podsystemu. Polecenie to sprowadza się do podania numeru czynności transportowej uzyskanego z przetworzenia MM. Po wysłaniu zadania, zawieszane są przekształcenia modelu (dotyczące transportu) na czas realizacji czynności w podsystemie transportu, odpowiedzialnym za sposób realizacji czynności transportowej. Potwierdzenie wykonania zadania przez podsystem wznawia zawieszone przekształcenie modelu do momentu rozpoznania kolejnej czynności transportowej. Ponieważ program nadrzędny wysyła wszystkie numery symulowanych czynności, konieczne stało się rozwiązanie problemu rozróżniania czynności transportowych od wszystkich pozostałych. Problem ten został rozwiązany, a ostatecznym wynikiem współpracy obu modeli jest symulacja działania transportu. Wizualizacja otrzymanych wyników współpracy tych modeli pozwala na śledzenie kolejnych etapów pracy systemu na ekranie monitora komputera.

3. Identyfikacja stanów $S(i,j)$ transportu T

Do podsystemu transportu napływają numery czynności transportowych pod którymi kryją się określone przejazdy określonego wózka. Zadaniem podsystemu jest realizacja tych zadań. W tym celu konieczne jest podanie sposobu wyboru wózka do realizacji zlecenia jak również wyboru dopuszczalnej trasy przejazdu. Chociaż metoda ma charakter ogólny, zdecydowano się na zilustrowanie jej konkretnym przykładem modelu ESP zaprezentowanego w pracy [1]. Schemat ESP do obróbki przedmiotów obrotowych przedstawiono na rys.1. W podanym przykładzie przytoczono tylko te informacje MM, które będą później wykorzystywane. System składa się z pięciu automatycznych stacji tokarskich (AST 1÷5) wyposażonych w stoły (ST 1÷5), stacji mycia (SM) wraz ze stołem STM, magazynem palet obróbkowych (MPO), oraz trzech automatycznie sterowanych wózków indukcyjnych (W 1÷3). W systemie obrabia się dwa rodzaje przedmiotów (PO1, PO2), transportowanych w paletach (odpowiednio PAL1, PAL2). Każdy z przedmiotów jest całkowicie obrabiany na dowolnej stacji, a następnie myty na stacji mycia.



Rys.1. ESP do obróbki przedmiotów obrotowych

Fig.1. FMS for processing of revolving objects

Zbiór $OS(j,k)$ zawiera numery czynności, do których przygotowany jest obiekt k po zakończeniu swego udziału w czynności j .

Czynności o numerach wyszczególnionych w tabelicy 1, to wszystkie możliwe czynności transportowe j_T w MM rozpatrywanego obiektu (dla których zbiory wyjść $OS(j_T, T) \neq \{0\}$).

Aby można było dokonać przydziału zlecenia do numeru wózka według algorytmu sterującego pracą systemu transportu przedstawionego w pracy [1] należy określić zbiór możliwych stanów wózka S . Stany te wynikają z charakteru prowadzonego procesu produkcyjnego.

Tablica 1

Zbiory wyjść OS(j,k)

Element(k) →	jk	2
j	Czynności ↓	T
1	START	66
2	PAL1, MPO→T	3÷7
3	PAL1, T→ST1	66
⋮	⋮	⋮
7	PAL1, T→ST5	66
8	PAL1, T→STM	66
⋮	⋮	⋮
27	PAL1, ST1→ST1	8
⋮	⋮	⋮
31	PAL1, ST5→T	8
32	PAL1, STM→T	33
33	PAL1, T→MPO	66

34	PAL2, MPO→T	35+39
35	PAL2, T→ST1	66
⋮	⋮	⋮
39	PAL2, T→ST5	66
40	PAL2, T→STM	66
59	PAL2, ST1→T	40
⋮	⋮	⋮
63	PAL2, ST5→T	40
64	PAL2, STM→T	65
65	PAL2, T→MPO	66
66	T*	2, 27+32, 34, 59+64
67	END	

Ponieważ w systemie jest obrabianych kilka przedmiotów PO1, PO2, ..., PON, więc dodatkowo należy dokonać rozróżnienia ze względu na typ przedmiotu oraz fazę technologiczną. Opracowany model podsystemu powinien spełniać wymogi modelu uniwersalnego, umożliwiającego współpracę z dowolnym modelem nadrzędnym sterującym pracą ESP, według różnych metod, niekoniecznie według metody macierzowej. Z tego względu stany wózka mogą być deklarowane przez projektanta systemu transportowego na poziomie podsystemu, a nie na poziomie modelu nadrzędnego. Np. w zamieszczonym przykładzie wszystkie możliwe stany wózka są następujące:

- 1 - wózek wolny,
- 2 - wózek z przedmiotem pierwszym przed obróbką,
- 3 - wózek z przedmiotem pierwszym po obróbce przed myciem,
- 4 - wózek z przedmiotem pierwszym gotowym,
- 5 - wózek z przedmiotem drugim przed obróbką,
- 6 - wózek z przedmiotem drugim po obróbce przed myciem,
- 7 - wózek z przedmiotem drugim gotowym.

Deklarowane przez projektanta powyżej stany wózków można odczytać w zbiorach wyjść OS(j, k) modelu macierzowego rozpatrywanego przykładu. Według podejścia zaproponowanego w pracy [3], stan danego obiektu k jest określony przez czynność, którą dany element może rozpocząć. Niech stan ten będzie oznaczony SD(j, k). Jeżeli po zakończeniu danej czynności obiekt k jest przygotowany do rozpoczęcia więcej niż jednej czynności np. j_1, j_2 , to stany SD(j_1, k) oraz stany SD(j_2, k) są identyczne.

Ogólnie jeżeli obiekt k jest przygotowany do rozpoczęcia kilku czynności $j_1 < \dots < j_d < \dots < j_D$ to SD(j_1, k) = ... = SD(j_d, k) = ... = SD(j_D, k) = SD(j, k), gdzie stan SD(j, k) jest stanem identyfikującym. Stan identyfikujący SD(j, k) może być najmniejszy numerem czynności j z tych, które

znajdują się w relacji identyczności. Stany te można wyznaczyć na podstawie zadeklarowanych zbiorów wyjść $OS(j,k)$. Jeżeli $OS(j,k) = \{j_1, \dots, j_d, \dots, j_D\}$ oraz $j_1 < \dots < j_d < \dots < j_D$, to wówczas $SD(j_1,k) = \dots = SD(j_d,k) = \dots = SD(j_D,k) = j_1$.

W zamieszczonym przykładzie $OS(2,2) = 3, 4, 5, 6, 7$, stąd $SD(3,2) = SD(4,2) = SD(5,2) = \dots = SD(6,2) = SD(7,2) = 3$.

Stan obiektów k , które aktualnie wykonują czynność l , jest przez nią jednoznacznie określony. W tym przypadku stan ten oznaczono $SP(j,k)$. Określa on stany, do których dany obiekt będzie przygotowany po zakończeniu czynności l . W taki sposób, jak dla stanów $SD(j,k)$ można zdefiniować stany identyfikujące dla stanów $SP(j,k)$.

Zgodnie z przyjętym zapisem w pracy [1] dla określenia wzajemnego powiązania pomiędzy czynnościami a stanem wózka zaproponowano piątkę uporządkowaną $S = \langle NC, SD, SP, PP, U \rangle$ gdzie:

NC - zbiór numerów czynności transportowych ($NC = \{1, 2, \dots, j\}$)

SD - zbiór stanów wózka przed wykonaniem czynności transportowej ($SD = \{sd_1, \dots, sd_j\}$)

SP - zbiór stanów wózków po wykonaniu czynności transportowej ($SP = \{sp_1, \dots, sp_j\}$)

PP - zbiór pozycji wózków po wykonaniu czynności transportowej ($PP = \{pp_1, \dots, pp_j\}$)

U - relacja czteroczłonowa jako podzbiór iloczynu kartezjańskiego $NC \times SD \times SP \times PP$
($U \subset NC \times SD \times SP \times PP$)

Relację U przedstawiono w postaci tablicy wartości (tab. 2), w której kolumny NC, SD, SP, PP odpowiednio określają: numery czynności ($1, \dots, j$), stany wózków przed wykonaniem czynności (sd_1, \dots, sd_j), stany wózków po wykonaniu czynności (sp_1, \dots, sp_j), pozycję wózków po wykonaniu czynności (pp_1, \dots, pp_j)

Tablica 2

Relacja czteroczłonowa U

NC	SD	SP	PP
1	sd ₁	sp ₁	pp ₁
2	sd ₂	sp ₂	pp ₂
⋮	⋮	⋮	⋮
j	sd _j	sp _j	pp _j

Algorytm wyszukiwania stanów $SD(j,k)$, $SP(j,k)$ (będących elementami zbiorów SD, SP) znajdujących się w relacji identyczności i przyporządkowania im stanu identyfikującego zamieszczono poniżej.

W zależności od rodzaju czynności ogólnie można wyróżnić dwa przypadki. Każdy z nich dotyczy następującej sytuacji:

1. Dotyczy zbiorów wyjść $OS(j,k)$ przyporządkowanych danemu elementowi k , odpowiadających czynności $j = k^*$ w modelu macierzowym (w podanym przykładzie: $k = T, j = T^*$).

Dla tych czynności $j_s \in NC$ (zbioru NC), które są równe elementom zbioru wyjść $OS(k^*,k)$ (w podanym przykładzie $OS(T^*,T)$), stany $SD(j_s,k)$ pozostają w relacji identyczności (oznacza to, że obiekt jest przygotowany do rozpoczęcia kilku czynności).

2. Ogólnie dotyczy zbiorów wyjść $OS(j,k)$ przyporządkowanych obiektom k , odpowiadających czynnościom $j = j_T$, dla których spełniona jest zależność $OS(j_T,k) \neq \{0\}$. W tym przypadku wyróżnia się dwie następujące sytuacje:

a. dotyczy wyłączenia jednoelementowych zbiorów wyjść $OS(j_T,k)$, których element jest równy czynności $j = k^*$ (w podanym przykładzie $OS(j_T,T) = T^*$).

Dla tych czynności $j_s \in NC$ (zbioru NC), które są równe wybranym czynnościom j_T , stany $SP(j_s,k)$ pozostają w relacji identyczności.

(Określa to stany, do których dany obiekt k będzie przygotowany po zakończeniu czynności j_s),

b. dotyczy zbiorów wyjść $OS(j_T,k)$, których elementy są różne od czynności $j = k^*$ (w podanym przykładzie $OS(j_T,T) \neq T^*$).

Dla czynności $j_s = j_T$, dla których spełniona jest zależność $OS(j_T,k) \neq k^*$, stany $SP(j_s,k)$ znajdują się w relacji identyczności. Natomiast dla tych czynności $j_s \in NC$, które są równe elementom zbioru wyjść $OS(j_T,k)$, dla których jest spełniona zależność $OS(j_T,k) \neq k^*$, stany $SD(j_s,k)$ znajdują się w relacji identyczności.

Stany $SD(j,k)$, $SP(j,k)$ przyjmują następujące wartości:

• dla przypadku 1

$$SD(j_s,k) = k^* \quad (1)$$

• dla przypadku 2a

$$SP(j_s,k) = k^* \quad (2)$$

• dla przypadku 2b

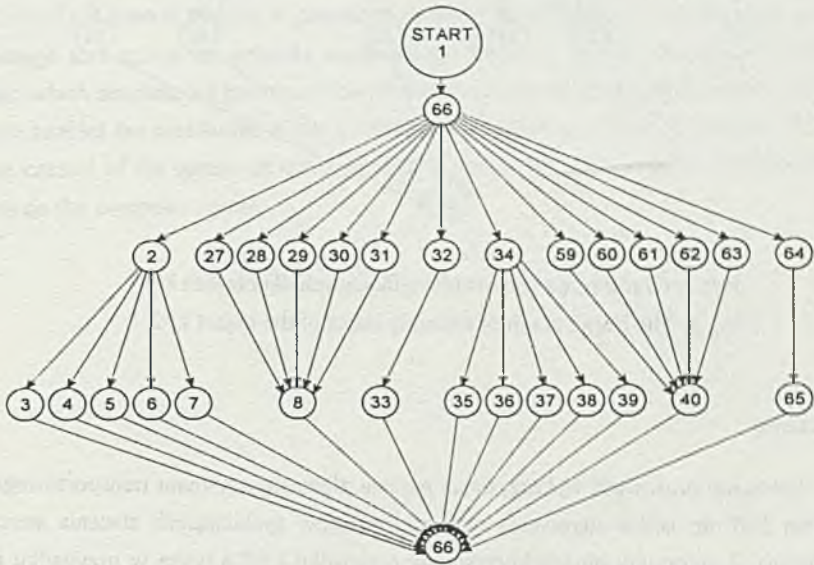
$$\begin{aligned} SP(j_s,k) &= j_1 \\ SD(j_s,k) &= j_1 \end{aligned} \text{ ,gdy } OS(j_T,k) = \{j_1, j_d, \dots, j_D\}, \text{ oraz } j_1 < \dots < j_d < \dots < j_D \quad (3)$$

Stany $SD(j,k)$, $SP(j,k)$ przyjmują wartości wyliczone według wzoru (3), wtedy gdy ich wartości są równe zero. W przeciwnym wypadku wartości ich nie ulegają zmianie.

Zasady tworzenia stanów identyfikujących dla danego obiektu k można przedstawić na grafie reprezentującym sposób powiązań czynności możliwy dla obiektu k . Jeżeli połączy się ze sobą łukami skierowanymi czynności w możliwej kolejności ich występowania, to powstaje graf Berge'a. Przykład takiego grafu dla obiektu $k=2(T)$ zamieszczono na rys. 2. Graf ten składa się

z węzłów odpowiadających numerom poszczególnych czynności. Np. w podanym przykładzie po wykonaniu czynności $j=66$ obiekt $k=2$ jest przygotowany do wykonania następujących czynności $j=2, 27+31, 32, 34, 59+63, 64$. Po wykonaniu np. czynności $j=2$ obiekt $k=2$ jest przygotowany do rozpoczęcia czynności $j=3+7$, a po zrealizowaniu jednej z nich obiekt ponownie jest gotowy do wykonania czynności $j=66$.

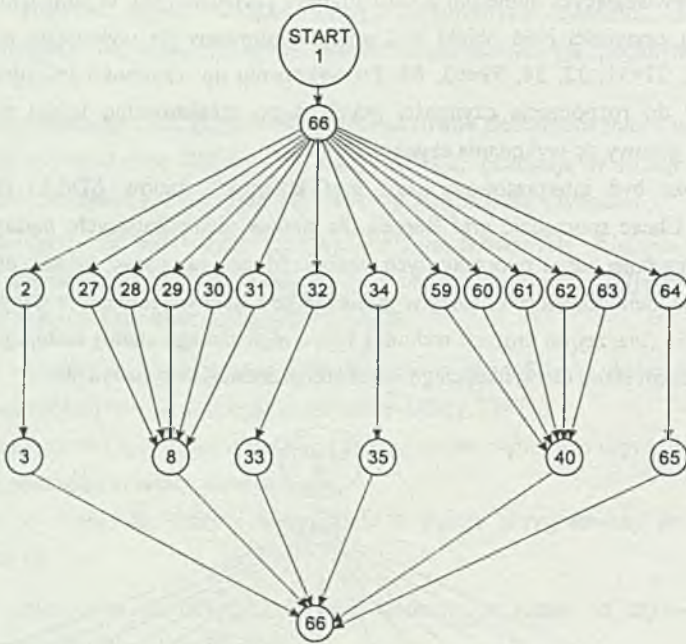
Graf ten może być interpretowany jako graf kolejnych stanów $SD(j,k)$ ($SP(j,k)$) dla ustalonego k . Chcąc sporządzić graf Berge'a dla stanów identyfikujących, należy skorzystać z podanych wcześniej zasad tworzenia tych stanów. Można zauważyć, że aby otrzymać graf Berge'a stanów identyfikujących należy w grafie Berge'a stanów pominąć te stany, które mają wspólne wejście (inaczej, do których wchodzi łąki z tego samego stanu) zastępując je jednym stanem z numerem stanu identyfikującego. Graf taki przedstawiono na rys. 3.



Rys.2. Graf Berge'a stanów dla obiektów $k=2$

Fig. 2. The Berge graph of states of the object $k=2$

Np. do wykonania (rys. 2) czynności $j=3+7$ jest wymagany ten sam stan tj: $SD(3,2)=SD(4,2)=SD(5,2)=SD(6,2)=SD(7,2)$ można więc je zastąpić jednym stanem identyfikującym $S(j,k)=3$, co pokazano na rys. 3. Analogicznie w przypadku czynności $j=35+39$ jest wygodnie stany $SD(35,2)=\dots=SD(39,2)$ znajdujące się w relacji identyczności zastąpić jednym stanem identyfikującym $S(j,k)=35$.



Rys.3. Graf Berge'a stanów identyfikujących dla obiektu $k=2$
 Fig.3. The Berge graph of identity states of the object $k=2$

Zakończenie

Wykazano możliwość wykorzystania modelu złożonego systemu transportowego jako podsystem ESP do celów sterowania tych podsystemów spełniających zlecenia sterowania nadrzędnego. Z algorytmu można korzystać w przypadku ESP a także w przypadku innych systemów transportowych. Opracowano i uruchomiono nową wersję programu symulacyjnego "Wózki" opartego na opracowanym modelu. Program może znaleźć zastosowanie do sterowania, jak i projektowania tych systemów.

LITERATURA

- [1] Szadkowska - Skrzypiciel J.: Model symulacyjny systemu transportowego ESP wraz z algorytmem wyboru trasy wózka, Praca doktorska, Kraków 1993.
- [2] Cyklis J.: Algorytm symulacji ESP, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z. 96, Gliwice 1988.

- [3] Cyklis J., Pierzchała W.: Warunki unikania zastoju w macierzowym modelu ESP, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Automatyka, z. 110, Gliwice 1992.

Recenzent: Prof. dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04 1994 r.

Abstract

The simulation model of the transportation subsystem of FMS proposed in this paper enables the realization any task ordered by the host computer. In the system the possible routes of vehicles are represented in the form a cohesion graph for the two ways traffic. The general algorithm of the control systems is presented showing the efficient way of the paper choice of the passage and routes in order to avoid mutual blocking of the vehicles. The computer program which simulate the motion of the vehicles based on the algorithm has been made. This program enables the simulation of the transportation system so can be applied for the design and the control of the system of this type. The program allows to observe the movement of vehicles on the computer screen.