ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI SLĄSKIEJ 1992

Seria: AUTOMATYKA z. 110 Nr kol. 1176

Jolanta Szadkowska-Skrzypiciel
Politechnika Krakowska

MODEL SYMULACYJNY SYSTEMU TRANSPORTOWEGO ESP WRAZ Z ALGORYTMEM WYBORU TRASY WÓZKÓW

THE SIMULATION MODEL OF A TRANSPORTATION SYSTEM OF FMS WITH THE ALGORITHM OF THE SELECTING THE TRAFFIC ROUTES OF VEHICLES

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГПС С АЛГОРИТМОМ ВЫБОРА ДОРОГИ ТЕЛЕЖЕК

Streszczenie: Opracowano metodę obliczania dopuszczalnej liczby wózków w systemie transportowym ESP, pozwalającą na realizację dowolnego przejazdu oraz algorytm wyznaczania takiej trasy. Wykonano komputerowy program symulacyjny oparty na tym algorytmie.

Summary: In the paper the method of calculation of the maximal number of vehicles in the transportation system of FMS is presented for which the realization of any route is possible. The algorythm of the route choice is also described. The simulation program computer based on the algorithm has been made.

Резюме: Разработан метод расчета допустимого количества тележек в транспортной системе ГПС, для которого существует возможность реализации произвольного проезда и алгоритм определения такой дороги. Приведена компьютерная программа для имитационного моделирования, которая основана на этом алгоритме.

1. Wstęp

Praca niniejsza jest rozwinięciem modelu symulacyjnego systemu transportowego ESP, zaproponowanego przez autora we wcześniejszych opracowaniach. Model symulacyjny podsystemu transportu wraz z algorytmem sterującym bezkolizyjnie pracą wózków w systemie przedstawiono w pracy [1]. Istotą proponowanego modelu jest realizacja ustalonej sekwencji czynności narzuconej przez system nadrzędny ESP, np. model macierzowy [2]. Na poziomie modelu macierzowego nie jest możliwa obserwacja sposobów realizacji tych zadań przez poszczególne środki transportu. W wielu przypadkach, oprócz faktu wykonania czynności transportowej, niezbędne są także informacje dotyczące drogi pokonywanej przez środki transportu. Jest to istotne ze względu na możliwe kolidowanie tras przejazdu poszczególnych wózków. Co więcej, może się okazać, że zadana sekwencja czynności transportowych jest nierealizowalna ze względu np. na fakt zablokowania możliwej trasy jazdy wózka pod wskazany adres przez inny wózek. Dlatego też zaproponowany algorytm umożliwia:

1) określenie kolejności wykorzystywania wózków w systemie (suboptymalny wybór wózka dla realizacji konkretnego zlecenia),

2) dobór bezkolizyjnych tras przejazdu dla wszystkich wózków w systemie w celu realizacji wytyczonych zadań.

Przy rozwiązywaniu powyższych zagadnień ujawniły się nowe problemy, które wymagały wprowadzenia nowych pojęć oraz pewnych zmian w algorytmie sterowania. W niniejszej pracy zawarto następujące problemy:

1) rozwiązywalność systemu transportowego, rozdz. [3],

2) jednoczesny ruch wózków w systemie, rozdz. [4].

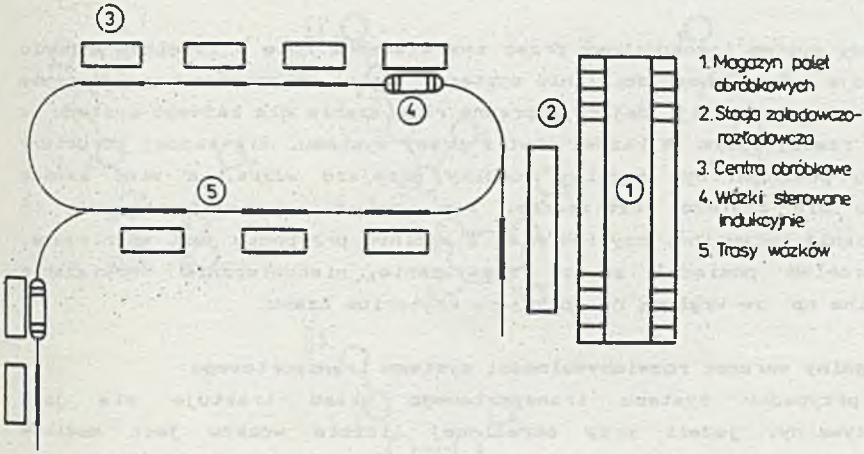
2. Model systemu transportowego

Aby umożliwić analizę pracy transportu w zaprojektowanym systemie ESP należy wyodrębnić moduł transportowy i przedstawić go za pomocą modelu sieciowego. Proponowany model sieciowy składa się z wierzchołków reprezentujących stanowiska produkcyjne bądź oczekiwania oraz krawędzi łączących te stanowiska ze sobą. Przy czym wierzchołki to możliwe pozycje wózków w systemie, krawędzie to sieć dróg transportowych. Omawiany model sieciowy jest elementarnym grafem niezorientowanym (graf niezorientowany umożliwia jazdę wózka w obu kierunkach, lecz w znacznym stopniu komplikuje algorytm sterowania pracą wózków w systemie; w przypadku grafu zorientowanego sterowanie systemu transportu jest dużo prostsze, ale ruch wózków jest ograniczony tylko do jednego kierunku). Jeśli dodatkowo określimy długość dróg transportowych, to otrzymamy graf ważony. Rozpatrywane są jedynie modele sieci dróg transportowych będące grafami spójnymi, niezawierającymi pętli własnych (grafy właściwe) [5]. Spójność grafu jest istotna z punktu widzenia systemu transportu, w którym między dwoma dowolnymi pozycjami zawsze istnieje droga trasportowa.

W celu przeprowadzenia poprawnej analizy pracy systemu transportowego już w fazie modelowania należy wyróżnić dwa warianty struktury systemu:

- wariant pierwszy struktury zamodelowanej za pomocą grafu spójnego z obwodami,
- wariant drugi struktury zamodelowanej za pomocą grafu spójnego bez obwodów, tj. drzewa.

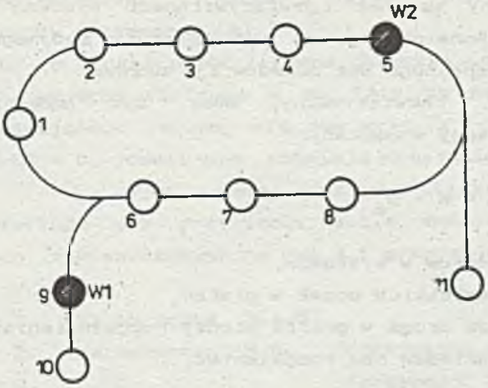
Uproszczony schemat modelowanego systemu ESP zamieszczono na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Schemat przykładowego systemu ESP

Fig. 2.1. FMS example

Zamieszczony powyżej system zapisano za pomocą proponowanego modelu sieciowego przedstawionego na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Model sieciowy systemu transportowego

Fig. 2.2. The net model of the transportation systems

Na modelu dodatkowo zaznaczono wózki indukcyjne w zajmowanych przez nich aktualnie wierzchołkach grafu, gdzie wózek w1 zajmuje pozycję o nr. 9, wózek w2 pozycję o nr. 5.

3. Rozwiązywalność systemu transportowego

Każdy system transportowy przez swą służebną rolę w istotnym stopniu warunkuje efektywność działania systemu. Zatem zaproponowany algorytm musi być efektywny, tj. dający poprawne rozwiązanie dla każdego systemu w czasie rzeczywistym. W każdej chwili pracy systemu, dla każdej struktury systemu powinien być możliwy dowolny przejazd wózka, a więc zawsze powinno się znaleźć rozwiązanie, bez względu na to czy będzie to rozwiązanie optymalne, czy też nie. W ogólnym przypadku jest ważniejsze, aby problem posiadał zawsze rozwiązanie, niekoniecznie rozwiązanie optymalne np. ze względu na przyjęte kryterium czasu.

3.1. Ogólny warunek rozwiązywalności systemu transportowego

W przypadku systemu transportowego układ traktuje się jako rozwiązywalny, jeżeli przy określonej liczbie wózków jest możliwe zrealizowanie w nim dowolnego przejazdu, tzn. że każdy wózek z dowolnego punktu może dojechać do dowolnie wybranego miejsca w systmie. W tym celu należy wyliczyć maksymalną liczbę wózków dla danej struktury systemu, przy której jest możliwe rozwiązanie problemu. Dla każdej większej liczby wózków (od wyliczonej) problem nie zawsze posiada rozwiązanie. Nie jest możliwy dowolny przejazd ze względu na wzajemne blokowanie się wózków.

Poniżej podano ogólny warunek rozwiązywalności systemu dla dowolnej struktury systemu zamodelowanego za pomocą grafu spójnego z obwodami, bądź za pomocą grafu spójnego bez obwodów, tj. drzewa.

Aby system był rozwiązywalny, musi być spełniony warunek rozwiązywalności zapisany w postaci:

$$W = n - b_o \qquad (1)$$

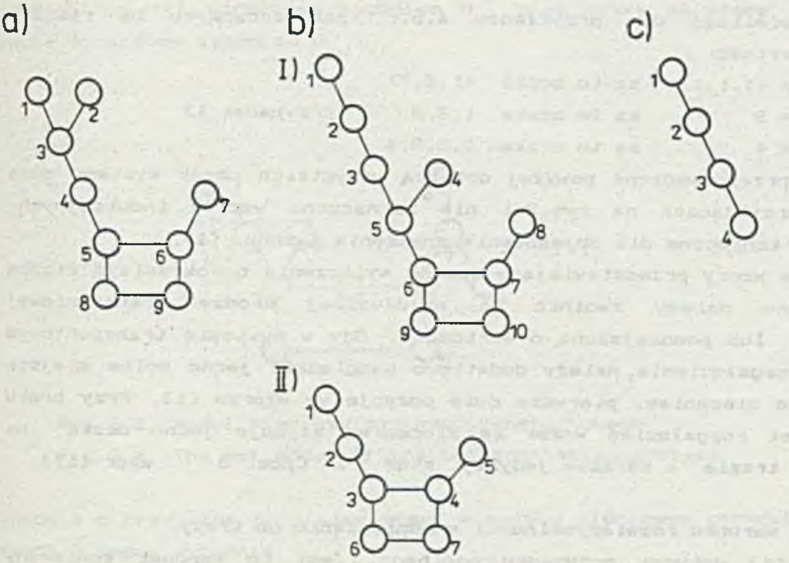
gdzie: W – liczba wózków w systemie,

n – liczba wszystkich oczek w grafie,

b_o – najdłuższa droga w grafie między rozgałęzieniami bądź na ścieżce bez rozgałęzień,

b_o – przyjmuje następujące wartości:

$$b_o = \begin{cases} \max OR + 1 & ,\text{gdy } \max OR \geq \max OS \quad \begin{pmatrix}\text{przykład}\\ \text{rys. 3.1a}\end{pmatrix} \\ \max OS + 1 & ,\text{gdy } \begin{array}{l} 1. \max OR < \max OS \\ 2. \max OR = 0 \end{array} \quad \begin{pmatrix}\text{przykład}\\ \text{rys. 3.1b}\end{pmatrix} \\ \max OS - 1 & ,\text{gdy brak rozgałezień} \quad \begin{pmatrix}\text{przykład}\\ \text{rys. 3.1c}\end{pmatrix} \end{cases} \qquad (2)$$



Rys. 3.1a,b,c. Modele sieciowe systemów transportowych

Fig. 3.1a,b,c. The net models of the transpotation systems

max OR - maksymalna liczba oczek między dwoma kolejnymi rozgałęzieniami liczona w całym grafie opisanym za pomocą macierzy incydencji [A].

Jest to liczba oczek liczona od oczka posiadającego więcej niż dwa wyjścia (liczone w mac.[A]) do następnego w kolejności posiadającego więcej niż dwa wyjścia liczone włącznie.

max OR = 0, jeżeli nie istnieją conajmniej dwa oczka o liczbie wyjść więcej niż dwa (liczone w mac.[A]).

Opisywana wielkość dla przykładów a,b,c modeli sieciowych systemów transportowych zamieszczonych na rys. 3.1 przyjmuje wartość:

a.) max OR = 3, są to oczka 3,4,5

b.) max OR = 2, są to oczka 5,6 (przypadek 1)

max OR = 0, (przypadek 2)

c.) brak rozgałęzień

max OS - Maksymalna liczba oczek na ścieżce liczona w całym grafie opisanym za pomocą macierzy incydencji [A].

Jest to liczba oczek liczona od oczka posiadającego jedno wyjście (liczone w mac.[A]) do oczka posiadającego więcej niż dwa wyjścia (liczone w mac [A]) wyłącznie lub do oczka końcowego.

Opisywana wielkość dla przykładów a,b,c zamieszczonych na rys.3.1 przyjmuje wartość:

a) max OS = (1,1,1) są to oczka (1,2,7)

b) max OS = 3 są to oczka 1,2,3 (przypadek 1)

c) max OS = 4 są to oczka 1,2,3,4

Rozważania przeprowadzone powyżej dotyczą wszystkich oczek systemu poza pętlą. W przykładach na rys.3.1 nie zaznaczono wózków indukcyjnych. Nie było to konieczne dla objaśnienia znaczenia wzoru (1).

Poszczególne wzory przedstawiające sposób wyliczenia b określają liczbę oczek, które należy zwolnić na najdłuższej drodze transportowej powiększoną lub pomniejszoną o wartość 1. Gdy w systemie transportowym występują rozgałęzienia, należy dodatkowo uwzględnić jedno wolne miejsce dla wózka ze zleceniem, pierwsze dwie pozycje we wzorze (1). Przy braku jakichkolwiek rozgałęzień wózek ze zleceniem zajmuje jedno oczko na najdłuższej trasie a zarazem jedynej, stąd '-1' (poz. 3 wzór (1)).

3.2. Postać warunku rozwiązywalności w odniesieniu do trasy

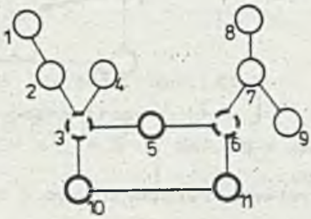
Warunek (1) dotyczy przypadku ogólnego. Jest to warunek konieczny rozwiązywalności systemu, gdyż wyliczona w ten sposób dopuszczalna liczba wózków w systemie zapewnia zrealizowanie dowolnego przejazdu. Warunek ten uwzględnia wszystkie możliwe przypadki, a więc ten najmniej korzystny również. Dla różnych tras przejazdu różna liczba wózków w systemie jest dopuszczalna.

Przy pewnej modyfikacji wzoru (1) można go łatwo przystosować do przypadków szczegółowych, czego wymaga przyjęta w pracy taktyka sterowania systemu. W ogólnym zarysie polega ona na sprowadzaniu układu do stanu rozwiązywalnego z punktu widzenia trasy przejazdu po każdym kroku pracy tegoż systemu. Algorytm sterowania wymusza analizę układu na krok naprzód. Nie wolno kierować wózka do kolejnego oczka na trasie tylko dlatego, że jest ono wolne. Koniecznie należy sprawdzić czy wprowadzając tam wózek układ nadal będzie rozwiązywalny.

Sprawdzanie rozwiązywalności układu dla każdego oczka na wytyczonej trasie przejazdu sprowadza się do wyliczania dopuszczalnej liczby wózków w tych oczkach. Sposób obliczania liczby wózków wymaga ścisłego określenia charakteru oczek tej trasy. Aby ułatwić interpretacje przedstawionych poniżej wzorów, została przeprowadzona pełna analiza na przykładzie modelu sieciowego systemu zamieszczonego na rys.3.2. Tym niemniej rozważania mają charakter ogólny. Model składa się z 11 oczek reprezentujących 11 różnych stanowisk roboczych. W systemie występują dwa rodzaje oczek:

- oczka pętli O_p,
- oczka scieżki O_s.

Przy czym wśród oczek pętli można wyróżnić oczka pętli będące zarazem oczkami ścieżki oznaczone symbolem O_{ps} oraz oczka należące jedynie do pętli oznaczone symbolem O_{pp}.



Rys. 3.2. Model sieciowy systemu transportowego

Fig. 3.2. The net model of the transportation systems

Zgodnie z przyjętym podziałem oczek w modelu sieciowym przedstawionym na rys. 3.2 można wyróżnić:

$$O_p = 3,5,6,10,11 \begin{cases} O_{pp} = 5,10,11 \\ O_{ps} = 3,6 \end{cases}$$

$$O_s = 1,2,4,7,8,9$$

Linią pogrubioną ciągłą zaznaczono oczka O_{pp}, natomiast linią pogrubioną przerywaną oczka O_{ps}. Pozostałe oczka to oczka ścieżki O_s.

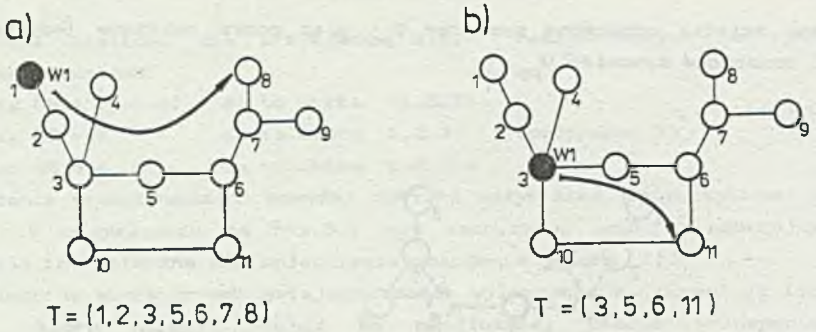
W zależności od przebiegu trasy ogólnie można wyróżnić cztery przypadki. Każdy z nich dotyczy następującej sytuacji:

a) dotyczy oczek O_s lub O_{ps}, pod warunkiem, że na trasie oprócz oczek O_s występują conajmniej dwa oczka O_{pp}. Przypadek ten dotyczy oczek o nr.1,2,3 na trasie T=(1,2,3,5,6,7,8) z przykładu zamieszczonego na rys. 3.3a;

b) dotyczy wyłącznie oczek O_{pp}, pod warunkiem, że na trasie wystąpi conajmniej jedno oczko O_s. Przypadek ten dotyczy oczka o nr.5 na trasie T=(5,6,7,8) z przykładu zamieszczonego na rys. 3.3a;

c) dotyczy oczek O_s lub O_{ps}, pod warunkiem, że na trasie występują same oczka O_s lub oczka O_s i tylko jedno oczko O_{ps} (nie mogą wystąpić oczka O_{pp}). Przypadek ten dotyczy oczek o nr.6,7,8 na trasie T=(6,7,8) przykładu zamieszczonego na rys. 3.3a;

d) dotyczy jedynie oczek O_p pod warunkiem, że na trasie występują tylko oczka O_{ps} i O_{pp} (nie mogą wystąpić oczka O_s). Przypadek ten dotyczy oczek o nr. 3,5,6 z przykładu zamieszczonego na rys. 3.3b.



Rys. 3. 3a, b. Model sieciowy systemu transportowego z zaznaczaną trasą przejazdu wózka w1

Fig. 3. 3a, b. The net model of a transportation system with the route of the vehicle w1 marked on it

Warunek rozwiązywalności (1) przyjmuje postać:

- dla przypadku a.

$$w = n - a - b \tag{3}$$

- dla przypadku b.

$$w = n - b \tag{4}$$

- dla przypadku c.

$$w = n - b, \quad n = n_1 - a_1 \tag{5}$$

- dla przykładu d.

$$w = n - a - b, \quad b = 1 \tag{6}$$

We wzorach (3),(4),(5) wielkość b jest obliczana według wzoru (2), przy czym b odnosi się tylko do oczek na trasie, a nie do wszystkich oczek grafu. Pod wielkością n kryje się liczba wszystkich oczek w grafie. Wielkość n_1 występująca we wzorze (5) opisującym przypadek c określa liczbę oczek na trasie plus wszystkie wyjścia tych oczek w mac.[A], różnych od oczek O_{pp}. Jeżeli oczka będące wyjściami różnymi od oczek trasy posiadają dalsze wyjścia w mac.[A] różne od oczek O_{pp}, należy je dodać do oczek określających wielkość n_1. Łącznie mogą to być tylko oczka O_s lub oczka O_s i jedno oczko O_{ps}. Wielkość a określa ilość wierszy zerowych w mac.[A], odpowiadającym tym oczkom trasy, w których wózek już był i ich wyjściom w mac.[A] plus wyjścia w mac.[A] oczka, w którym aktualnie znajduje się wózek. Jeżeli oczka w mac.[A] będące wyjściami różnymi od oczek trasy posiadają dalsze wyjścia w mac.[A] różne od tych oczek i oczek trasy, należy je doliczyć do oczek określających wielkość a. Dotyczy to oczek trasy i ich wyjść w mac.[A], które są oczkami O_s. Wielkość a_1 liczy się w identyczny sposób jak wielkość a, z tą różnicą, że wszystkie obliczenia odnosi się do n_1 oczek, a nie do wszystkich n oczek grafu. W tym przypadku mogą to być oczka O_s i jedno oczko O_{ps}. Korzystając z powyższych wzorów wyliczono dopuszczalną liczbę wózków w, dla każdego oczka na trasie z przykładu zamieszczonego na rys. 3.3a.

Oczka o numerze: Spodziewana trasa przejazdu:

1 w = 11-0-3 = 8 T = (1,2,3,5,6,7,8)

n = 11

a = 0 [brak wyjść w mac.[A] dla oczka trasy o nr.1]

b = max OS+1 = 2+1 = 3 [max OS = max OR (1,2) (6,7)]

2 w = 11-1-3 = 7 T = (2,3,5,6,7,8)

n = 11

a = 1 (oczko o nr.1)

b = max OR+1 = 2+1 = 3 [max OR = 2 (6,7)]

3 w = 11-3-3 = 5 T = (3,5,6,7,8)

5 w = 11-3 = 8 T = (5,6,7,8)

6 w = 4-0-2 = 2 T = (6,7,8)

7 w = 4-2-1 = 1 T = (7,8)

n_1 = 4

a_1 = 2 (oczko o nr.6,9)

b = max OS-1 = 2-1 = 1 [max OS = 2 (7,8)]

8 (oczko końcowe)

Dla wyliczonej liczby wózków system jest rozwiązywalny, tzn. że w systemie istnieje możliwość zrealizowania dowolnego przejazdu. Dla większej liczby wózków (od wyliczonej) problem nie zawsze posiada rozwiązanie ze względu na zablokowanie trasy przejazdu przez dużą liczbę wózków. W takiej sytuacji układ należy sprowadzić do stanu rozwiązywalnego, co zapewnia opracowany algorytm sterowania pracą wózków w systemie. Algorytm pozwala na skierowanie wózka do kolejnego oczka na trasie tylko wtedy, gdy warunek rozwiązywalności jest spełniony. W przypadku niespełnienia waruku w pierwszej kolejności należy wycofać wózki z trasy przejazdu przy niezmienionej pozycji wózka ze zleceniem. Można je wycofywać do tych oczek trasy, w których wózek ze zleceniem już był albo do ich wyjść w mac.[A]. Gdy takie postępowanie jest nieskuteczne, wówczas wózek ze zleceniem jest wycofywany kolejno do oczek systemu (różnych od oczek trasy przejazdu) do chwili, gdy zostanie wycofana ta ilość wózków z podsystemu, ktora powodowała, że układ był nierozwiązywalny. Ze względu na brak miejsca w artykule nie zamieszczono szczegółowego opisu algorytmu.

4. Jednoczesny ruch wózków w systemie

W każdym systemie transportu należy uwzględnić możliwość współbieżnej pracy systemu, tj. pracy przy realizacji kilku zleceń równocześnie. Dlatego też oprócz algorytmu podstawowego, uwzględniającego pracę systemu przy realizacji pojedynczych zleceń w kolejności ich zgłoszeń, dodatkowo opracowano algorytm dopuszczający jednoczesny ruch wózków.
Poniżej przedstawiono tylko ogólną ideę rozwiązania problemu równoczesności w celu uzyskania zwięzłości artykułu.

Po przeprowadzeniu szczegółowej analizy systemu ściśle określono warunki w jakich dopuszcza się równoczesną pracę wózków, a w jakich należy z niej zrezygnować, korzytając jedynie z algorytmu podstawowego. W zaproponowanym algorytmie dopuszcza się możliwość realizacji kilku zleceń równocześnie, jeżeli są spełnione następujące warunki:

1. wytyczone trasy dla realizacji zleceń są rozłączne,
2. realizacja danego zlecenia nie blokuje wykonania pozostałych.

W przypadku, gdy trasy wózków nie są rozłączne, w pewnych warunkach dopuszcza się realizacje zleceń dla dwóch wózków równocześnie. Trasa wózka uruchomionego jako pierwszy musi być trasą z wolnym przejazdem. Przy zachowaniu niezmienności tej trasy należy wyznaczyć trasę dla realizacji kolejnego zlecenia. W zależności od położenia pozycji końcowej nowej trasy w odniesieniu do trasy wózka poruszającego się wyznacza się ją względem pozycji aktualnej wózka poruszającego się albo względem pozycji końcowej. Przydziału zlecenia do numeru wózka oraz wyboru trasy dokonuje się za pomocą algorytmu podstawowego. Przez porównanie czasów przejazdu obu wózków przez pierwszą i ostatnią wspólną pozycję na trasach przejazdu określa się czy jest możliwy jednoczesny ruch wózków dla realizacji dwóch zleceń bez przerywania ich wykonania. Nowe zlecenie należy uruchamiać wtedy, gdy aktualnie jest realizowane nie więcej niż jedno zlecenie. Natomiast, gdy jest realizowanych więcej zleceń, oczekuje się tak długo, aż w systemie będzie pracował tylko jeden wózek. W przeciwnym razie w pewnych szczególnych przypadkach problem może się stać nierozwiązywalny. Usuwanie wózków z trasy danego wózka może w skuteczny sposób zablokować trasy przejazdu innych wózków poruszających się w tym samym czasie. Wszystko ulega zmianie w czasie, układ staje się dynamiczny. Problem do rozwiązania okazuje się być skomplikowanym zadaniem kombinatorycznym. Znalezienie w tym układzie rozwiązania jest możliwe, ale nie jest to celem pracy. Dla potrzeb ESP nie jest koniecznym rozważanie tak skomplikowanych zadań, gdyż systemy te nie są aż tak rozbudowane z tak dużą ilością wózków. Zastosowany algorytm powinien być jak najbardziej ogólny, nie wprowadzający dodatkowych ograniczeń, aby móc otrzymać poprawne rozwiązanie w czasie rzeczywistym.

5. Zakończenie

Opracowano i uruchomiono na mikrokomputerze klasy IBM PC/XT/AT program komputerowy podsystemu transportowego oparty na opracowanym algorytmie, z wizualizacją pracy wózków w systemie. Program ten jest pomocny przy badaniu i ocenie zaprojektowanych wariantów sieci dróg transportowych oraz wyborze wariantu najkorzystniejszego.

LITERATURA

[1] Szadkowska-Skrzypiciel J.: Symulacyjny model systemu trasportu. Opracowanie dla CPBR 02.04. ITM Politechniki Krakowskiej 1989.

[2] Cyklis J.: Towards Simple Simulation of FMS. Selected Works in the Field of Mechanics. Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Kraków 1987.

[3] Fujii S.,Honzaki R.,Sandoh H.: Routing control of automated guided vehicles in FMS. Proceedings of the USA-Japan Symposium, 1988

[5] Kulikowsi J.: Zarys teorii grafów. Bibl. Naukowa Inż. Warszawa 1986

Recenzent: Prof.dr h.inż. Franciszek Marecki

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

Abstract:

In the paper a method of calculation of maximal number w of vehicles in the transportation system of FMS is presented. If the number of vehicles is less than the number w, any route in the system can been performed for any starting and ending position. As the model of the transport route the net is concident in which knot correspond to possible position of the vehicles. The maximal number w of the vehicles is calculated as follow:

$$W = n - b_o, \qquad b_o = \begin{cases} \max OR + 1 \\ \max OS + 1 \\ \max OS - 1 \end{cases}$$

Where n is a number of position in the system, and b_o is the number of position on the longest tree of the net. The way how this route can be found is also presented. In order to follow this route it's necessary to pass other vehicles which occupy the positions on it. The algorithm shows the tactics of following this procedure. The algorithm is fast enough for using in the real time. The program allows to observe the movement of vehicles on the computer screen.