

Zbigniew Banaszak
Politechnika Wrocławska

SIECIOWE MODELE SYSTEMÓW ROZRZĄDOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę automatycznego modelowania systemów rozrządowych. Opracowana metoda, oparta na formalizmie teorii sieci Petriego, umożliwia sformułowanie warunków realizowalności i synchronizacji procesów współbieżnych. Wykorzystanie uzyskanych wyników zilustrowane zostało na przykładzie systemu komputerowo wspomaganego modelowania systemów typu "górnica rozrządowa".

1. Wstęp

Problemy budowy i eksploatacji systemów rozproszonego przetwarzania wiążą się z zagadnieniami zautomatyzowanego modelowania, programowania oraz oceny efektywności wykonywania poszczególnych funkcji użytkowych systemów. Podstawowym narzędziem modelowania takich obiektów jest aparat sieci Petriego [7,8].

W niniejszej pracy, jako obiekt rozważań przyjęto klasę systemów rozrządowych modelujących procesy transportowe występujące przy tworzeniu składów (zestawów kolejowych) na górkach rozrządowych, łączeniu barek w transporcie rzeczonym oraz montażu i demontażu form odlewniczych. W szczególności, przedmiotem rozważań objęte są systemy, w których realizowane są współbieżnie przebiegające procesy transportowe opisywane zbiorami częściowo uporządkowanych, elementarnych operacji transportowych. Charakterystyczne cechy rozważanych systemów wiążą się z:

- koniecznością łączenia zestawów wózków (wagonów) w składy lub też rozłączania składów na oddzielne, samodzielnie funkcjonujące zestawy,
- występowaniem marszrut transportowych determinujących sposoby łączenia i/lub rozłączania zestawów kolejowych.

Podstawowym problemem spotykanym przy projektowaniu i użytkowaniu tego typu systemów jest problem określenia topologii tras komunikacyjnych oraz realizowanych w nich marszrut transportowych. Złożoność tego problemu wiąże się m.in. z koniecznością synchronizacji współbieżnie przebiegających procesów transportowych konkurujących w dostępie do wspólnych zasobów systemu (np. odcinków toru, rozjazdów itp.) oraz z koniecznością wyznaczania harmonogramów przejazdów w czasie rzeczywistym.

Pewnym abstrakcyjnym, w stosunku do aktualnie istniejących możliwości technologicznych, przykładem systemu rozrządowego jest elastyczny system produkcyjny, w którym funkcje transportu międzystanowiskowego wykonywane

są w oparciu o tzw. metamorficzne roboty mobilne. Roboty takie, z własnym napędem, mogące swobodnie przebudowywać swoją strukturę w zależności od istniejących potrzeb produkcyjnych systemu, byłyby szczególnie przydatne w sytuacjach związanych z transportem dużych detali (wykorzystywana byłaby możliwość łączenia kilku wózków (robotów metamorficznych) dla uzyskania wymaganej powierzchni platformy transportowej), reperacją uszkodzeń stacji produkcyjnych (gdzie odpowiednie połączenie kilku wózków może być niezbędne do utworzenia wymaganego stanowiska naprawczego), zwiększenia niezawodności systemu transportu międzystanowiskowego (wykorzystywane byłyby możliwości łączenia wózków sprawnych z częściowo uszkodzonymi wózkami w konfiguracje odpowiadające w pełni sprawnym wózkom) itd. Łatwo zauważyć, że problemy projektowania i sterowania systemami transportowymi opartymi na koncepcji robotów metamorficznych są w pełni równoważne problemem występującym w systemach rozrządowych.

W prezentowanej pracy przedstawiono:

- sposób modelowania systemów rozrządowych,
- warunki realizowalności i synchronizacji współbieżnie przebiegających procesów transportowych,
- system komputerowo wspomaganego modelowania i harmonogramowania pracy systemów rozrządowych typu "górnica rozrządowa".

Uzyskane rezultaty stanowią uogólnienie prac, związanych z badaniami współbieżnie przebiegających procesów produkcyjnych, prowadzonymi w ramach CPBP 02.13.

2. Modele sieciowe

Rozważmy system transportu kolejowego typu "górnica rozrządowa", strukturę którego przedstawia rys. 1.

Tory rozważanej górnicy rozrządowej składają się z dwóch typów sektorów (skrzyżowań i rozjazdów oraz łączących je odcinków sektorów). Poszczególne sektory oznaczone zostały kolejnymi literami alfabetu łacińskiego.

Korzystając z wprowadzonych oznaczeń, łatwo zauważyć, że pierwszą marszrutę (tzn. porządek występujących w niej sektorów) opisuje digraf przedstawiony w następującej formie zapisu listowego:

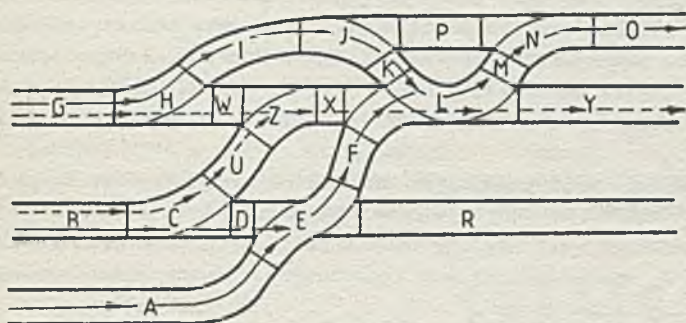
$$MT_1 = \{(G,H), (H,I), (I,J), (J,K), (K,L), (B,C), (C,D), (D,E), (A,E), (E,F), (F,L), (L,M), (M,N), (N,O)\}.$$

Odpowiednio, digraf drugiej marszrutę przedstawia poniższy zapis:

$$MT_2 = \{(G,H), (H,W), (B,C), (C,U), (W,Z), (U,Z), (Z,X), (X,L), (L,Y)\}.$$

Przyjmuje się, że wagony lub ich zestawy, z których następnie formowane są różne składy pociągów, pojawiają się w swoich sektorach wejściowych, w dowolnych momentach czasu. Ponadto zakłada się, że procesy formowania zestawów wagonowych są procesami potokowymi, tzn. różne fazy łącze-

nia kolejnych zestawów wzdłuż tej samej marszruty są realizowane jednocześnie, a stan zaawansowania kolejnych zestawów wiąże się ze stopniem ukończenia marszruty transportowej.



Rys. 1. Schemat górki rozrządowej z zaznaczonymi marszrutami transportowymi (linia ciągła przedstawia marszrutę pierwszą, a linia przerywana marszrutę drugą)

Fig. 1. Sketch of railway siding with distinguished transportation routes (continuous and dashed arcs determine the structure of the first and second route, respectively)

Z każdą z marszrut związana jest odpowiednia procedura określająca sposób formowania zestawów. W przypadku pierwszej marszruty procedurę formowania zestawów określają następujące reguły:

- zestawy dwuwagonowe (uzyskane z połączenia dwóch wagonów przebywających marszruty oznaczone odpowiednio sektorami B, C, D. oraz sektorem A), łączone są w sektorze E w jeden czterowagonowy zestaw (zawierający dwie pary wagonów, tzn. wagonów pojawiających się odpowiednio w sektorach B i A górki rozrządowej),

- otrzymany zestaw łączony jest, w sektorze L, z trzema wagonami ociekającymi w sektorze K (tzn. wagonami, które przebyły marszrutę wyznaczoną przez sektory G, H, I, J), w jeden zestaw składający się z 7 wagonów.

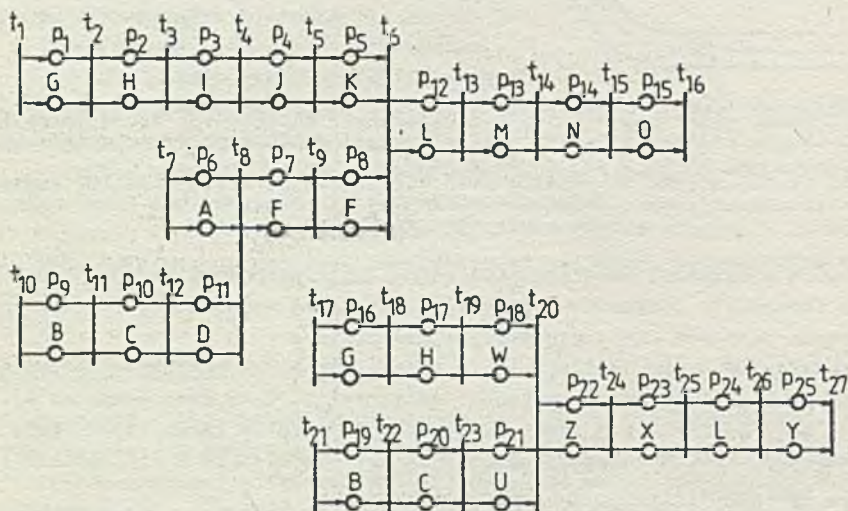
Algorytm formowania zestawów w marszrucie drugiej korzysta z następującej reguły:

- łączenia, w sektorze Z, dwóch zestawów (jednego trójelementowego, uzyskanego w wyniku połączenia trzech wagonów przebywających marszrutę obejmującą sektory B, C, U oraz dwóch wagonów przebywających marszrutę G, H, W), w jeden 5-elementowy zestaw.

Jedno z typowych zadań, często formułowanych dla tej klasy systemów, dotyczy wyznaczania harmonogramów formowania zestawów wagonowych przy zadanych marszrutach transportowych i czasach przejazdu wagonów przez sektory toru jezdni. Złożoność tego zadania wiąże się z koniecznością określenia zbioru rozwiązań dopuszczalnych, tzn. rozwiązań gwarantujących

sformowanie określonej liczby różnych zestawów. Dla ilustracji zauważmy, że niektóre z sektorów przedstawionych na rys. 1, są wspólne dla obu marszrut, np. sektory G i H. Przyjmując naturalne ograniczenie, mówiące, że w każdym z sektorów może znajdować się jednocześnie co najwyżej jeden skład (tzn. jeden wagon lub jeden skład wagonowy), łatwo zauważyć, że asynchroniczny ruch wagonów może doprowadzić do blokady systemu. Przykładem takiego stanu jest sytuacja, w której sektory G, H, W, Z, X są zajęte przez zestawy z drugiej marszrut, podczas gdy sektory B, C, D, E, F są zajęte przez zestawy przebywające marszrutę pierwszą, a sektory I, J, K pozostają wolne.

Model dynamiczny przebiegu procesów realizowanych w systemie z rys. 1 ilustruje model sieciowy przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Model sieciowy procesów transportowych przebiegających w systemie z rys. 1.

Fig. 2. Net model of transportation processes executed in the system shown in Fig. 1.

Szczegółowy opis algorytmu transformującego specyfikację procesów transportowych (tzn. zbiór ich marszrut) w odpowiednie modele sieciowe przedstawiony został w [3,4,6].

3. Warunki realizowalności i synchronizacji

Mechanizmy synchronizacji procesów współbieżnych, zabezpieczające systemy rozrządowe przed blokadami mogą funkcjonować w oparciu o różne zasady. Ich działanie z reguły polega na zarezerwowaniu całości, lub części

zasobów dla wykonania określonego zadania [5]. Po jego wykonaniu zarezerwowane zasoby zostają zwolnione i mogą być przydzielone do wykorzystania podczas realizacji kolejnego zadania. Wielkość przydzielonego zasobu gwarantować musi pomyślną realizację zadania, tzn. jego ukończenia.

Wykonanie każdego z modelowanych procesów jest możliwe wówczas, gdy spełnione są tzw. warunki realizowalności. W rozważanym podejściu, w każdej z marszrut technologicznych wyróżnia się zbiór "stref liniowych".

Niech S_i oznacza i -tą strefę liniową, tj. i -ty ciąg symboli stref sektorów (występujących w grafie danej marszrutu transportowej), zaczynający się i kończący się symbolem sektora wejścia/wyjścia systemu lub kodem sektora łączenia/rozłączania zestawów.

Warunkiem realizowalności planowanego procesu jest zagwarantowanie minimalnej wielkości zasobów, określonej dla danego zasobu b przez funkcję:

$$K(b) = \sum_{i=1}^n f_i(b),$$

gdzie

$$f_i(b) = \begin{cases} 1 & \text{dla } b \text{ należącego do strefy } S_i \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

b - nazwa zasobu,

S_i - i -ta strefa liniowa, $i = \overline{1, n}$,

n - liczba stref w danej marszrucie transportowej.

Przez wielkość zasobu w systemie transportowym rozumiana jest liczba zrównoległych danego sektora. W przykładzie z rys. 1 minimalne wielkości zrównoległych sektorów wynoszą 1.

Minimalna "pojemność" każdego z sektorów jest równa liczbie liniowych stref, w których ten sektor co najmniej raz występuje. Zagwarantowanie w rzeczywistym systemie transportowym takiej pojemności zasobów i ich podział między liniowe strefy uniezależnia przebieg procesu w dowolnej ze stref od stanu stref pozostałych. W tej sytuacji, istotnego znaczenia nabiera wybór mechanizmu synchronizacji gwarantującego niezakłócony przebieg procesów wewnątrz wyróżnionych stref.

Dla wyznaczenia warunków synchronizacji, tzn. warunków wystarczających do bezblokadowego przebiegu procesów, przyjmuje się, że każda ze stref S_i dzielona jest na odcinki powtarzalne P i niepowtarzalne N . Odcinek niepowtarzalny składa się z sąsiadujących ze sobą sektorów, występujących w danej strefie S_i co najwyżej raz. Pozostałe sektory tworzą odcinki powtarzalne.

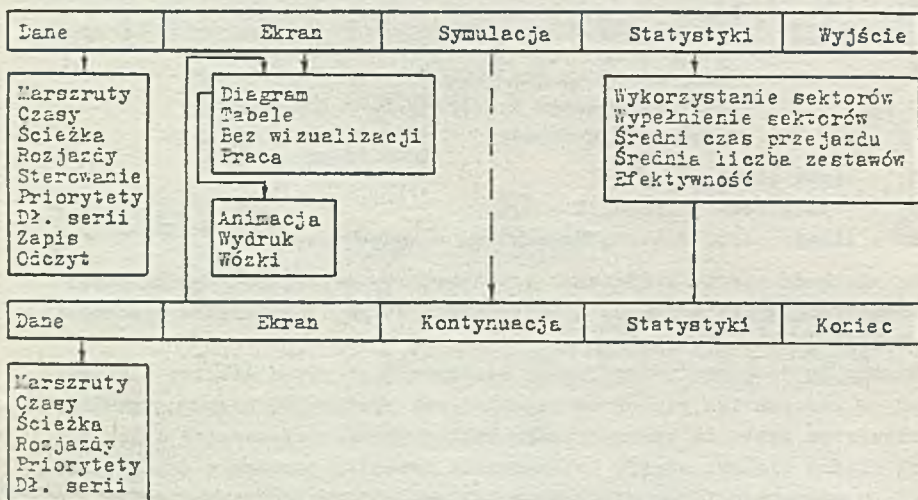
Warunkiem bezblokadowego przebiegu procesu jest także sterowanie procesem, aby w odcinku powtarzalnym poprzedzającym odcinek niepowtarzalny znajdował się co najwyżej jeden wagon (zestaw) i aby w odpowiednim odcinku niepowtarzalnym co najmniej jeden sektor był wolny. Wymieniony warunek

oznacza, że stosowany mechanizm synchronizacji sprawdza przed wprowadzeniem wagonu do odcinka P, czy cały odcinek P jest wolny i czy wszystkie sektory następującego za nim odcinka E nie są wypełnione do końca.

Formalny opis warunków wystarczających dla realizowalności i synchronizacji omawianej klasy procesów przedstawiony jest w pracach [1,2,4]. Wymienione warunki oraz ukazana metodyka automatycznego modelowania procesów rozrządowych wykorzystane zostały przy budowie Symulatora Systemów Rozrządowych SSR [6].

4. Symulator Systemów Rozrządowych

Program SSR napisany został w języku C i zaimplementowany na komputerze IBM PC AT wyposażonym w kartę grafiki EGA. Strukturę menu programu przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Struktura menu programu SSR
Fig. 3. Menu structure of SSR program

Omawiany program umożliwia modelowanie oraz przeprowadzanie oceny efektywności funkcjonowania systemów rozrządowych zawierających:

- do 5 jednocześnie wykonywanych marszrut transportowych,
- w każdej marszrucie, do 8 gałęzi liniowych,
- w każdej gałęzi, do 50 sektorów,
- do 250 wagonów (wózków).

Program SSR może być wykorzystywany w zadaniach:

- projektowania torów jezdnych oraz marszrut transportowych w systemach typu górka rozrządowa,
- analizy procesów transportowych przebiegających współbieżnie i kon-

kurujących w dostępie do wspólnych sektorów toru jezdni systemu transportowego,

- oceny wpływu różnych dyscyplin obsługi na wybrane wskaźniki jakości pracy systemu.

W celu ilustracji możliwości wykorzystania programu SSR, rozważmy system rozrządowy, w którym realizowany jest proces zadany następującą marszrutą transportową:

$$MT_1 = \{(D,H), (B,E), (H,I), (E,I), (G,C), (C,F), (P,M), (I,M), (M,R), (R,N), (M,P), (P,O), (O,K)\}.$$

W analizowanym systemie, jednocześnie z procesem zadany marszrutą MT_1 , realizowany jest również drugi proces, którego alternatywne marszrutę transportowe określają następujące warianty:

$$\text{Wariant 1 } MT_2 = \{(G,J), (J,I), (I,H), (H,K), (I,L), (L,P), (P,R), (R,N)\},$$

$$\text{Wariant 2 } MT_2 = \{(G,J), (J,I), (I,L), (L,O), (O,K), (L,P), (P,R), (R,N)\},$$

$$\text{Wariant 3 } MT_2 = \{(G,J), (J,M), (M,P), (P,O), (O,K), (M,R), (R,N)\}.$$

Wyniki eksperymentów komputerowych mających na celu określenie najlepszego wariantu, przeprowadzone przy założeniu, że czasy przejazdu wózków przez różne sektory są sobie równe i wynoszą 10 jednostek oraz, że długości serii wprowadzanych wagonów wynoszą 10, zebrane zostały w tabelicy 1.

Tabela 1

Wariant	Dyscyplina obsługi									
	D1		D2		D3		D4		D5	
	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2
1	blokada		blokada		blokada		573	4,01	575	3,99
2	682	4,98	680	3,88	682	4,97	699	3,69	662	3,70
3	672	4,82	661	3,83	672	4,80	672	3,68	662	3,66

gdzie

W1 - czas przejazdu wszystkich wagonów,

W2 - średnia liczba wagonów jednocześnie przebywających na górze rozrządowej.

Przyjęcie dyscyplin obsługi D1, D2 i D3 w wariantcie pierwszym doprowadza do powstania blokady systemu. Uniknięcie blokad jest możliwe po wprowadzeniu do systemu zrównoległych sektorów.

Najkrótszy czas przejazdu wszystkich zestawów przez górkę rozrządową, równy 573, uzyskany został dla Wariantu 1 przy użyciu dyscypliny D4. Warto zauważyć, że czas ten uzyskano dla wariantu o najdłuższej trasie przejazdu (9 sektorów) oraz wspólnym dla obu marszrut sektorze łączenia i rozłączenia zestawów.

Z kolei, najmniejszą wartość wskaźnika średniej liczby wózków (wagonów) jednocześnie przebywających na górze rozrządowej, równą 3,66 uzyska-

no w Wariancie 3, przy wykorzystaniu dyscypliny D5.

5. Zakończenie

W prezentowanej pracy przedstawiono metodę modelowania sieciowego systemów rozrządowych oraz sformułowano warunki realizowalności i synchronizacji współbieżnie przebiegających procesów transportowych. Uzyskane wyniki wykorzystane zostały przy budowie systemu SSR wspomagającego użytkownika w rozwiązywaniu zadań projektowania struktury systemów transportowych, planowania marszrut transportowych oraz wyboru strategii sterowania w czasie rzeczywistym.

LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Roszkowska E., Deadlock avoidance in pipeline concurrent processes. Podstawy Sterowania. Vol. 18, No. 1-2, 1988, pp. 3-17.
- [2] Banaszak Z., Synchronization mechanism for competing processes synchronization. In: Cybernetics and Systems '88, R. Trappl Ed. Kluwer Academic Pub. Dordrecht 1988, pp. 811-816.
- [3] Banaszak Z., Control oriented models of interprocess cooperation. System Science. Vol. 14, No. 2, 1988, pp. 31-59.
- [4] Banaszak Z., Krogh B.R., Real-time synchronization mechanism for complex concurrently competing processes coordination. Raport serii PRE nr 55/89, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1989.
- [5] Deitel H.M., An introduction to operating systems. Addison-Wesley Publ. Co., Massachusetts 1984.
- [6] Jaroszyński J., Nowak P., Banaszak Z., Symulator systemów rozrządowych. Raport serii SPR nr 33/89, Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1989.
- [7] Reisig W., Sieci Petriego. WNT, Warszawa 1988.
- [8] Starke P.H., Sieci Petri. PWN, Warszawa 1987.

Recenzent: Doc.dr inż. K.Wala

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

NET MODELS OF CONNECTION SYSTEMS

S u m m a r y

In this paper, a method aimed at automatic modelling of connection systems is presented. The method developed in the paper, based on the Petri net formalism, allows to analyse conditions sufficient for realization and synchronization of concurrent processes. An application of results obtained is illustrated on example of computer-aided modelling system for train-forming railway systems.

СЕТЕВБІЕ МОДЕЛІ РАССРЕДОТОНЕННІХ СИСТЕМ

Резюме

В статье представлен метод автоматизированного моделирования рассредоточенных систем. Предложенный метод, основанный на аппарате сетей Петри позволяет исследовать условия выполнимости и синхронизации параллельных процессов. Использование полученных результатов иллюстрируется системой автоматизированного моделирования рельсовых систем формирования поездов.