ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: AUTOMATYKA z. 117 Nr kol. 1337

Paweł MAJDZIK, Zbigniew BANASZAK, Witold OSTAFIŃSKI
Wyższa Szkoła Inżynierska w Zielonej Górze

REGUŁY SYNCHRONIZACJI SEKWENCYJNYCH PROCESÓW CYKLICZNYCH. PROCEDURA WERYFIKACJI

Streszczenie. Prezentowana procedura umożliwia weryfikację reguł synchronizacji w systemach cyklicznych procesów współbieżnych, w których dostęp do zasobu dzielonego jest koordynowany w oparciu o protokół wzajemnego wykluczania. Jej działanie określają własności (max,+) algebry; przyjętego formalizmu modelowania. Danymi wejściowymi procedury są: specyfikacja systemu sekwencyjnych procesów cyklicznych, zbiór reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych oraz stan początkowy systemu. Przedstawiono warunki wystarczające, spełnienie których gwarantuje syntezę równania.

VERIFICATION OF CYCLIC PROCESSES RULE SYNCHRONIZATION

Summary. The procedure presented here permits the verification of the synchronisation rules in a cyclic system of concurrent processes, in which an access to each common resource is co-ordinated by a mutual exclusion protocol. A performance of the procedure is determined by the (max,+) algebra, which is selected as the modelling formalism. An input data are: specification of sequence periodic systems, a set of dispatching rules for the resource conflicts and an initial state of the system. Sufficient conditions for the state equation design are proposed.

1. Wstęp

Przetwarzanie równoległe wymaga uwzględnienia trudnych do opisania zależności czasowych, wzajemnych interakcji procesów współpracujących w systemie oraz ograniczeń wynikających z użytkowania wspólnych zasobów [2]. Metody specyfikacji i weryfikacji są dla tego rodzaju przetwarzania bardziej skomplikowane niż dla przetwarzania sekwencyjnego.

Celem pracy jest automatyzacja etapów modelowania i oceny protokołu komunikacyjnego koordynującego współpracę procesów w pewnej określonej klasie systemów. W pracy analizowane są systemy sekwencyjnych procesów cyklicznych (SSPC) współzawodniczących o dostęp do zasobu dzielonego. Synchronizacja procesów oparta jest na protokole wzajemnego wykluczania. Sposób rozstrzygania konfliktów zasobowych musi uwzględniać określone wskaźniki jakościowe *(żywotność lokalna i globalna)*. Istnieje wiele

wariantów reguł wyboru priorytetu gwarantującego zarówno wyłączność dostępu procesów do zasobu dzielonego, jak i bezzagłodzeniową i bezblokadową pracę systemu. Wybór reguł synchronizacji procesów składowych wpływa na kolejność wykonywania operacji, a zatem na okres pracy systemu i w konsekwencji na wskaźniki ilościowe funkcjonowania systemu (np. wskaźnik wykorzystania zasobu, wskaźnik ciągłości pracy procesów) [2,6]. W oparciu o zbiór kryteriów ilościowych funkcjonowania systemu dokonywana jest ocena i w konsekwencji wybór najlepszego wariantu reguł synchronizujących pracę systemu.

2. Systemy sekwencyjnych procesów cyklicznych - SSPC

Jednym z modeli formalnych jest *sieć Petriego*. Z wielu rodzajów sieci Petriego najodpowiedniejsza do analizy SSPC jest *czasowa sieć Petriego*. Dla modelu sieciowego reprezentującego badany system można wyznaczyć graf znakowań osiągalnych będący zbiorem wszystkich osiągalnych stanów systemu. Jego analiza umożliwia jakościową i ilościową ocenę funkcjonowania systemu. Często stosowanym narzędziem umożliwiającym dokonanie oceny funkcjonowania systemu jest symulacja komputerowa. Modele symulacyjne umożliwiają analizę przebiegów przejściowych oraz ocenę efektywności zastosowanych reguł synchronizacji procesów (reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych) dla różnych stanów początkowych systemu. Inne metody wykorzystują modele analityczne, których realizacja sprowadza się np. do określenia składowych równań stanu.

Sformułowanie problemu: Dany jest system SSPC współzawodniczących o dostęp do zasobu dzielonego. Koordynacja procesów w dostępie do zasobu dzielonego realizowana jest w oparciu o zasadę wzajemnego wykluczania. Problem sprowadza się do określenia najefektywniejszego protokołu komunikacyjnego (z zadanego zbioru), którego implementacja gwarantuje zachowanie określonych wskaźników jakościowych *(żywotność globalna i lokalna)* oraz ekstremalizuje zadane, ilościowe wskaźniki pracy systemu.

3. Procedura weryfikacji protokołu komunikacyjnego w SSPC

Procedura weryfikacji protokołu komunikacyjnego obejmuje etapy: specyfikacji struktury SSPC, specyfikacji protokołu, konwersji protokołu, syntezy równania stanu oraz oceny protokołu.

Wielkościami wejściowymi umożliwiającymi realizacje etapu 2 i 3 są: n - liczba składowych procesów współzawodnicząca o dostęp do zasobu dzielonego, t_{ij} - czasy pracy poszczególnych procesów na zasobie dzielonym i zasobach własnych oraz reguły synchronizacji procesów. Realizacja etapów 2 i 3 pozwala wyznaczyć strukturę procesu pozornego[1], która wraz z wymienionymi poniżej elementami tworzy zbiór danych wejściowych ostatnich dwóch etapów procedury:

- *wektor stanu* $x_k = (x_k(1), x_k(2),..., x_k(n))$, którego $x_k(i)$ odpowiadają momentom rozpocząć poszczególnych operacji w k-tej iteracji,
- *stan początkowy systemu* zdefiniowany jako pewien, dowolny moment cyklicznej zmiany stanu systemu.

3.1. Specyfikacja systemu

Założenia: system jest zbiorem cyklicznych procesów współbieżnych współzawodniczących o dostęp do jednego zasobu dzielonego.

Specyfikacja struktury systemu: określenie liczby oraz parametrów (czasy pracy danego procesu na zasobie własnym i zasobie dzielonym) procesów pracujących w systemie.

Ograniczenia: zasób dzielony w tym samym czasie jest wykorzystywany przez jeden proces.

Wymagania: *jakościowe* - żywotność lokalna i żywotność globalna, *ilościowe* - minimalizacja czasu, określonego jako suma oczekiwań procesów na dostęp do zasobów, oraz maksymalne wykorzystanie zasobu dzielonego.

3.2. Specyfikacja protokołu

W systemie koordynowanym przez protokół *wzajemnego wykluczania* możliwych jest nieskończenie wiele realizacji wykorzystania zasobu dzielonego. Jego istota zapewnia wyłączności dostępu do zasobu dzielonego, jednak nie gwarantuje jakościowych charakterystyk pracy systemu. Aby współpraca procesów w systemie uwzględniała zadane wskaźniki jakości, należy nałożyć na protokół wzajemnego wykluczania dodatkowe reguły rozstrzygania konfliktów zasobowych. Oznacza to, że połączenie zasady wzajemnego wykluczania z regułami rozstrzygania konfliktów zasobowych określa rodzaj stosowanego protokołu.

---

[1] Proces pozorny - proces koordynujący dostęp procesów rzeczywistych do zasobu dzielonego zgodnie z przyjętym wariantem reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych. Spotkanie procesu pozornego z procesem rzeczywistym umożliwia wykonanie się operacji procesu rzeczywistego na zasobie dzielonym.

3.3. Konwersja protokołu

Kolejnym etapem procedury jest konwersja protokołu wzajemnego wykluczania na protokół *rendez-vous*, determinowana przez zastosowany aparat (max,+) algebry [1,2]. Algebra ta jest naturalnym formalizmem dla opisu systemów synchronizowanych w oparciu o protokół *rendez-vous*. Po dokonaniu konwersji system składa się z *procesów realnych (koordynowanych)*, które wykonują rzeczywistą pracę na zasobie dzielonym i zasobach własnych oraz z *procesu pozornego*, koordynującego w trybie spotkaniowym pracę procesów realnych wg przyjętych reguł synchronizacji. Proces pozorny jest procesem sekwencyjnym (założenie sekwencyjności zapewnia realizację wzajemnego wykluczania procesów realnych) i cyklicznym, który podczas spotkania z procesem realnym umożliwia mu wykonanie sekcji krytycznej. Wyznaczenie struktury procesu pozornego wymaga określenia liczby operacji procesu pozornego oraz kolejności ich wykonania. Kolejność ta wyznaczana jest w oparciu o formalizm sieci Petriego:

Krok 1. Skonstruuj czasową sieć Petriego modelującą pracę systemu.

Krok 2. Określ stan początkowy systemu, tzn. początkowe operacje wszystkich procesów składowych (markowanie początkowe sieci Petriego).

Krok 3. Wyznacz graf znakowań osiągalnych dla danego markowania początkowego. Z grafu znakowań osiągalnych wyznacz cykliczną sekwencję wykorzystania zasobu przez procesy.

3.4. Synteza równania stanu

Synteza równania stanu składa się z etapów określających: zależności czasowe pomiędzy operacjami (reprezentacja graficzna), składowe równania stanu (macierze **A**, **B** i **D**), wartość własną macierzy **D** (tzn. okres pracy systemu) oraz wartości elementów wektora **d**(0).

Krok 1. Reprezentacja graficzna. Graficzną ilustrację zależności czasowych występujących pomiędzy operacjami poszczególnych procesów koordynowanych przez dany protokół przedstawia graf *porządku rozpoczęć operacji* (PRO). Graf PRO jest zdefiniowany przez parę zbiorów (v,e), gdzie v jest zbiorem wierzchołków reprezentujących operacje wykonywane przez procesy, a e zbiorem krawędzi, których wagi reprezentują czasy wykonywania poszczególnych operacji. Waga krawędzi wychodząca z i-tego wierzchołka oznacza czas wykonywania i-tej operacji. Procedura budowy grafu PRO obejmuje:

1. Reprezentację operacji oraz czasów ich wykonywania przez procesy *realne* i proces *pozorny*.

2. Reprezentację warunków, jakie muszą zaistnieć w systemie, aby i-ty proces mógł rozpocząć wykonywanie określonej operacji. I-ta operacja reprezentowana przez i-ty wierzchołek grafu może się rozpocząć, gdy zostaną zakończone wszystkie te operacje, których czasy wykonania są wagami krawędzi wchodzących do danego wierzchołka.

Warunkiem rozpoczęcia przez i-ty proces wykonywania operacji na zasobie własnym (operacja p_{wi}) jest zakończenie wykonywania przez ten proces sekcji krytycznej (operacja p_{s1}).

Warunkami rozpoczęcia wykonywania sekcji krytycznej przez i-ty proces są: zakończenie wykonywania przez i-ty proces operacji na zasobie własnym oraz zakończenie sekcji krytycznej przez proces, który w sekwencji wykorzystania zasobu poprzedza i-ty proces.

Warunkami rozpoczęcia realizacji spotkania (operacja z_i) przez proces pozorny z i-tym procesem realnym są: zakończenie wykonywania przez i-ty proces operacji na zasobie własnym, zakończenie realizacji spotkania (operacja z_{i-1}) z procesem realnym, który w sekwencji wykorzystania zasobu poprzedza i-ty proces.

Krok 2. Składowe równania stanu. Na podstawie PRO wyznaczane są składowe pozwalające odtworzyć równanie stanu opisujące dynamikę zmian wektora stanu:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} \oplus \mathbf{B}\mathbf{x}_k \\ \mathbf{x}_0 &= (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \ldots, x_0(n)) \\ \mathbf{y}_k &= \mathbf{C}\mathbf{x}_k, \end{aligned} \tag{1}$$

gdzie:

- **B** jest macierzą stowarzyszoną[2] z grafem PRO z wyłączeniem krawędzi, które reprezentują operacje bezpośrednio poprzedzające początek cyklu. Jeżeli zbiór krawędzi poprzedzających cykl oznaczymy przez e_p, to graf $G(v, e\backslash\{e_p\})$ jest grafem stowarzyszonym z macierzą **B**. Oznacza to, że macierz **B** zawiera elementy $B_{i,j} > \varepsilon$ wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje krawędź od wierzchołka i-tego do wierzchołka j-tego. Wartością elementu $B_{i,j}$ jest waga tej krawędzi.
- **A** jest macierzą stowarzyszoną z grafem PRO zawierającym tylko krawędzie reprezentujące operacje poprzedzające początek cyklu. Graf $G(v, e_p)$ jest grafem stowarzyszonym z macierzą **A**.

---

[2] Niech para (υ,ζ), gdzie υ jest zbiorem wierzchołków, a ζ jest zbiorem krawędzi, definiuje pewien graf skierowany $G(\upsilon,\zeta)$. Niech wierzchołki grafu będą ponumerowane od 1 do n. Graf skierowany $G(\mathbf{A})$ jest grafem stowarzyszonym z macierzą kwadratową **A**, jeżeli krawędź od wierzchołka j do wierzchołka i należy do zbioru ζ wtedy i tylko wtedy, gdy $A_{ij} > \varepsilon$. Wartość A_{ij} jest wagą krawędzi (j,i).

- C jest macierzą filtrującą, która „usuwa" z wektora stanu x_k elementy związane z operacjami procesów pozornych pozostawiając w wektorze odpowiedzi y_k jedynie czasy rozpoczęć operacji realnie istniejących procesów.
- x_0 jest wektorem stanu zawierającym momenty rozpoczęć operacji w zerowej iteracji.

Równanie stanu (1) jest równoważne równaniu

$$\begin{aligned} x_k &= Dx_{k-1} \\ x &= (x_0(1), x_0(2), x_0(3),..., x_0(n)) \\ y_k &= Cx_k, \end{aligned} \tag{2}$$

gdzie

$$D = \left(\bigoplus_{i=0}^{\infty} B^i\right) A \tag{3}$$

Wyznaczamy składowe równania stanu poprzez realizację poniższych kroków określających:

- Graf rozpoczęć operacji z wyłączeniem krawędzi poprzedzających początek cyklu oraz elementy macierzy B stowarzyszonej z tym grafem.
- Graf rozpoczęć operacji zawierających tylko krawędzie poprzedzające początek cyklu oraz elementy macierzy A stowarzyszonej z tym grafem.
- Macierz D (na podstawie wzoru 3).

Krok 3. Okres pracy systemu i rozkład rozpoczęć poszczególnych operacji

Interesuje nas rozkład rozpoczęć poszczególnych operacji zachowujący kolejność dostępu do zasobu dzielonego określoną protokołem oraz cykl pracy całego systemu. Jeżeli przez d_k oznaczymy poszukiwany rozkład rozpoczęć operacji, to podlega on równaniu:

$$\begin{aligned} d_k &= Td_{k-1} \\ d_0 &= (d_0(1), d_0(2), d_0(3),...d_0(n)) \end{aligned} \tag{4}$$

gdzie T - okres systemu,

d_0 - wektor, którego elementy stanowią momenty rozpoczęć operacji w zerowej iteracji.

Wektor d_0 musi jednocześnie spełniać równanie stanu (2), co prowadzi do równania spektralnego macierzy D:

$$d_k = Dd_{k-1} = Td_{k-1} \tag{5}$$

tak więc rozkład d_k jest wektorem własnym, a T jest wartością własną tej macierzy.

Znając okres T i wektor d_0 możemy określić stan poszczególnych procesów w dowolnej iteracji.

4. Ocena protokołu

Wybór najlepszego wariantu jest realizowany na podstawie wartości poniższych wskaźników efektywności.

Współczynnik wykorzystania zasobu wspólnego ζ

$$\zeta = \frac{\sum_i s_i n_i + s_{qr} \max(n_q, n_r)}{T}, \quad i = p,q,r, \tag{6}$$

gdzie: T - okres systemu, s_i -liczba wykonań sekcji krytycznych przez proces, który korzysta z zasobu dzielonego w sposób wyłączny, s_{qr} - liczba wykonań sekcji krytycznych przez procesy Q i R, które korzystają z zasobu dzielonego w tym samym czasie, n_i - czas operacji i-tego procesu na zasobie dzielonym.

Współczynnik sprawności η [4]

$$\eta = \frac{\sum_i m_i (t_i + n_i)}{mT}, \quad i = p,q,r, \tag{7}$$

gdzie: T - okres systemu, m - liczba procesów, m_i - liczba wystąpień i-tego procesu w okresie T, t_i - czas operacji i-tego procesu na zasobach własnych, n_i - czas operacji i-tego procesu na zasobie dzielonym.

5. Podsumowanie

W powyższej pracy przedstawiono procedurę modelowania i oceny protokołu komunikacyjnego w systemach sekwencyjnych procesów cyklicznych, współzawodniczących o dostęp do jednego zasobu dzielonego. Pokazano, że dla konkretnego systemu o określonych ograniczeniach i założeniach pracy systemu komunikację opartą na protokole *wzajemnego wykluczania* można zastąpić komunikacją opartą na protokole *rendez-vous*. Następstwem powyższej konkluzji było stworzenie modeli algebraicznych systemów pracujących w trybie wzajemnego wykluczania o określonych regułach rozstrzygania konfliktów zasobowych. Na ich podstawie można dla zadanych wskaźników efektywności określić najlepszy protokół ze zbioru badanych protokołów.

LITERATURA

1. Bacceli F., Cohen G., Olsder G.J., Quadrat J.-P.: Synchronization and linearity. (An algebra for discrete event systems). John Wiley&Sons, Chichester 1992.

2. Ben-Ari M.: Podstawy programowania współbieżnego, WNT, Warszawa 1989.

3. Cohen G., Moller P., Quadrat J.-P., Viot M.: Algebraic tools for performance evaluation of discrete event systems. Proceding of the IEEE, Vol.77, No.1, 1989, pp. 39-58.

4. Banaszak Z., Jędrzejek K.: On self-synchronization of cascade-like coupled cyclic processes. Applied Mathematics and Computer Science, Vol.3, No.4., 1993, pp. 751-776.

5. Majdzik P., Obuchowicz A.: Programowanie współbieżne. Opis algebraiczny. IV Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych, Gdynia 1995.

6. Olsder G.J.: Synchronized continuous flow systems. In S. Balemi, P. Kozak and R. Smedinga, ES, Discrete Event Systems: Modelling and control, vol.13, Birkh-user, 1992, pp.113-124.

DODATEK

Specyfikacja systemu. Założenia, ograniczenia i wymagania zgodnie z punktem 3.1. W systemie pracują trzy procesy P_1, P_2, P_3 współzawodniczące o dostęp do zasobu dzielonego. Czasy przebywania procesów na zasobie dzielonym i zasobach własnych: proces P_1 - $t_{w1} = 4$, $t_{s1} = 3$; proces P_2 - $t_{w2} = 3$, $t_{s2} = 3$; proces P_3 - $t_{w3} = 5$, $t_{s3} = 4$.

Specyfikacja protokołu - reguły synchronizacji. Zastosowany protokół $P_2P_1P_3P_2P_1$ jest połączeniem zasady wzajemnego wykluczania oraz reguł szeregowania żądań dostępu do zasobu dzielonego zgodnie z kolejką FIFO.

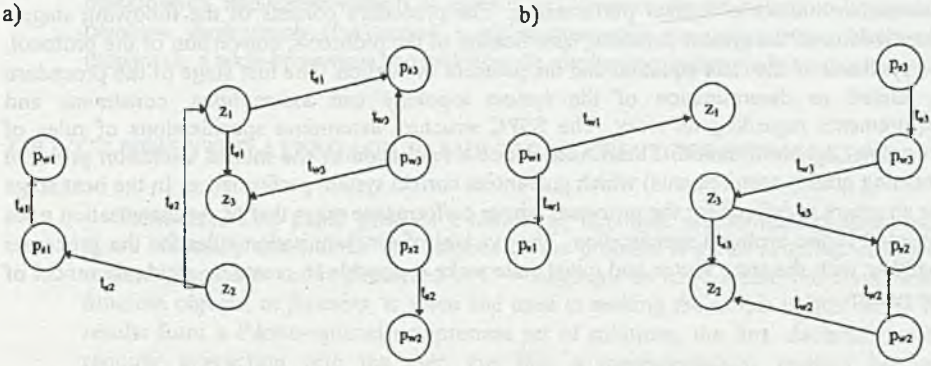
Wielkości wejściowe procedury umożliwiające realizację etapów 4 i 5: Wektor stanu o postaci $x_k = (p_{w1}, p_{s1}, p_{w2}, p_{s2}, p_{w3}, p_{s3}, z_1, z_2, z_3)$, którego współrzędne odpowiadają momentom rozpoczęć poszczególnych operacji, gdzie: p_{wi} - operacja wykonywania sekcji lokalnej przez i-ty proces; p_{si} - operacja wykonywania sekcji krytycznej przez i-ty proces; z_i - operacja wykonywana przez proces pozorny. Stan początkowy systemu: proces P_2 przebywa na zasobie dzielonym (operacje p_{s2}), proces P_1 oczekuje na dostęp do zasobu dzielonego, proces P_3 przebywa na zasobie własnym (operacja p_{w3}).

Synteza równania stanu. Krok 1. Reprezentacja graficzna. Operacje procesów realnych P_1, P_2, P_3 na zasobie własnym i zasobie dzielonym są reprezentowane odpowiednio przez wierzchołki p_{w1}, p_{s1}, p_{w2}, p_{s2}, p_{w3}, p_{s3}. Operacje procesu pozornego z_1, z_2, z_3 oznaczają odpowiednio realizacje spotkania procesu pozornego z procesami P_1, P_2, P_3 i są reprezentowane przez wierzchołki z_1, z_2, z_3. Czasy wykonywania operacji p_{w1}, p_{s1}, p_{w2}, p_{s2}, p_{w3},

p_{s3} reprezentują krawędzie o wagach t_{w1}, t_{s1}, t_{w2}, t_{s2}, t_{w3}, t_{s3}. Ponieważ podczas spotkania proces realny wykonuje sekcję krytyczną, to czasy operacji procesu pozornego z_1, z_2, z_3 są równe odpowiednio t_{s1}, t_{s2}, t_{s3}.

Określenie warunków, jakie muszą zaistnieć w systemie na to, aby dany proces realny mógł rozpocząć pracę na zasobie własnym zgodnie z pkt 3.4.:

Krok 2. Określenie składowych równania stanu. Operacje poprzedzające początek cyklu to: operacja p_{w2} procesu P_2, operacja p_{w1} procesu P_1, operacja p_{s3} procesu P_3, operacja z_3 procesu pozornego. Graf rozpoczęć operacji (rys. 2a) stowarzyszony z macierzą **B**. Graf rozpoczęć operacji zawierający (rys. 2b). Graf ten jest stowarzyszony z macierzą **A**.



Rys. 1. Grafy stowarzyszone z macierzami a) **B** b) **A**
Fig.1. Starting order graph associated with the matrix a) **B** b) **A**

$$A=\begin{bmatrix} 4&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ 4&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon \end{bmatrix};\ B=\begin{bmatrix} \varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&5&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&5&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon \end{bmatrix};\ D=\begin{bmatrix} 4&\varepsilon&9&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&10\\ \varepsilon&\varepsilon&6&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&7\\ \varepsilon&\varepsilon&6&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&7\\ \varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4\\ \varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon\\ 7&\varepsilon&9&\varepsilon&\varepsilon&9&\varepsilon&\varepsilon&10\\ 4&\varepsilon&6&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&7\\ \varepsilon&\varepsilon&3&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&\varepsilon&4\\ 7&\varepsilon&9&\varepsilon&\varepsilon&9&\varepsilon&\varepsilon&10 \end{bmatrix}\quad T=10\ \text{i}\ d_0=\begin{bmatrix} 6\\3\\3\\e\\e\\6\\3\\e\\6 \end{bmatrix}$$

Wartości poszczególnych elementów wektora $\mathbf{d}_0$ stanowią czasy rozpoczęć odpowiednich operacji systemu zgodnie z wcześniej ustalonym porządkiem.

Wskaźniki efektywności:

współczynnik wykorzystania wspólnego zasobu:

$$\eta = (1\times7+1\times6+1\times9)/(3\times10) = 24/30 \cong 0.8$$

współczynnik sprawności:

$$\zeta = (1\times3+1\times3+1\times4)/10 = 10/10 = 1$$

Recenzent: Dr hab.inż. Eugeniusz Toczyłowski, prof. Pol.Warsz.

Wpłynęło do Redakcji do 30.06.1996 r.

Abstract

The procedure presented here permits the verification of the synchronisation rules in a cyclic system of concurrent processes, in which an access to each common resource is co-ordinated by a mutual exclusion protocol. A performance of the procedure is determined by the (max,+) algebra, which is selected as the modelling formalism. It realisation permits to determine the most effective communication protocol (within a prescribed set) whose implementation guarantees given levels of performance indices and makes extreme prescribed quantitative indices of system performance. The procedure consists of the following stages: specification of the system structure, specification of the protocols, conversion of the protocol, the synthesis of the state equation and the protocol evaluation. The first stage of the procedure is related to determination of the system topology and assumptions, constraints and requirements regarding its work. The SSPC structure determines specifications of rules of processes synchronisation. These rules define a realisation of the mutual exclusion protocol (meeting quality requirements) which guarantees correct system performance. In the next stage the structure is defined for the processes whose performance maps that of synchronisation rules assumed in the protocol specification. The variant of synchronisation rules for the processes together with the state vector and initial state make it possible to create an algebraic model of the system.