ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: AUTOMATYKA z. 143 Nr kol. 1726

Paweł MAJDZIK[1], Zbigniew BANASZAK[2]
[1]Uniwersytet Zielonogórski, [2]Politechnika Koszalińska

# WARUNKI KOMPOZYCJI SYSTEMÓW WSPÓŁBIEŻNYCH PROCESÓW CYKLICZNYCH

**Streszczenie.** Przedmiotem rozważań są Systemy Współbieżnych Procesów Cyklicznych (SWPC), w których procesy współpracują w trybie wzajemnego wykluczania. Prezentowana metoda kompozycji elementów zbioru SWPC gwarantuje zachowanie, w nowopowstającym systemie należącym do klasy SWPC, określonych własności, np.: cykliczności systemu, niezmiennego cyklu jego podsystemów składowych, itp. Przedstawiono warunki wystarczające dla istnienia tego typu operacji kompozycji. Zaproponowana operacja umożliwia budowę struktur algebraicznych wykorzystywanych w procesie syntezy systemów klasy SWPC zorientowanych na zarządzanie przepływem danych w sieciach komputerowych.

# CONDITIONS FOR SYSTEMS OF CYCLIC CONCURRENT PROCESSES COMPOSITION

**Summary.** In the paper a class of systems composed of a set of cyclic concurrent processes (SCCPs) synchronized due to a mutual exclusion protocol is considered. Its contribution is to presented conditions sufficient for coupling elements from the class of SCCPs. A newly obtained system treated as result of such two systems composition also belongs to SCCPs. Moreover, periods of component processes are preserved. The composition introduced provides an algebraic framework allowing to design decision support systems aimed at computer network management.

## 1. Wstęp

Obecnie dynamicznie rozwijającym się obszarem komunikacji międzyludzkiej jest telekonferencja realizowana z zastosowaniem sieci telekomunikacyjnych. Podstawowym elementem tego rodzaju sieci telekomunikacyjnej jest router. Transmisja danych w takich systemach jest synchroniczna, oznacza to, że znane są rozkłady transmisji danych, tzw. slotów, oraz opisujące je czasy. Oznacza to, że praca routera może być reprezentowana przez zamknięty system współbieżnych procesów cyklicznych, w którym synchronizacja procesów gwarantuje cykliczną pracę systemu [4], [6].

Cechą charakterystyczną rozważanego typu sieci informatycznych jest zbiór połączonych i współpracujących ze sobą routerów. Współpraca routerów powinna być w określony sposób zsynchronizowana, zależnie od realizowanych w sieci transmisji. W przedstawionym kontekście pod pojęciem projektowania sieci rozumiany jest dalej wybór routerów i sposobu ich łączenia, a pod pojęciem zarządzania zasobami sieci informatycznej – sposób synchronizacji pracy routerów.

Konsekwencją tak przyjętego sposobu projektowania i zarządzania siecią informatyczną jest poszukiwanie metod kompozycji (łączenia) sieci składowych, a w konsekwencji, takiej ich synchronizacji, przy której sieć wynikowa spełnia zakładane oczekiwania, a łączone fragmenty sieci zachowują swoje pierwotne parametry. Rozważana w pracy operacja kompozycji bazuje na modelu systemu współbieżnych procesów cyklicznych (SWPC). W przyjętej konwencji, w wyniku kompozycji dwóch sieci powstaje nowa, (rys. 1), w której dwa różne routery, zastąpione zostały przez jeden, współdzielony przez sieci składowe.

Kompozycja systemów oparta jest na warunkach wystarczających, których spełnienie, gwarantuje, że nowo powstały system spełnia określone właściwości, np. to że jego cykl jest zadaną funkcją wartości cykli systemów składowych. Zapewnienie pożądanych właściwości jest gwarantowane poprzez zachowanie bezkonfliktowego dostępu do nowo powstałego zasobu dzielonego. Przez konflikt rozumiana jest sytuacja, w której dwa lub więcej procesów żąda dostępu do współdzielonego zasobu, lub, gdy jeden z procesów żąda dostępu do już zajętego zasobu dzielonego. W tym kontekście celem pracy jest opracowanie metod łączenia SWPC, przy których to połączeniach gwarantowany jest bezkonfliktowy przebieg procesów na zasobie współdzielonym przez łączone systemy.

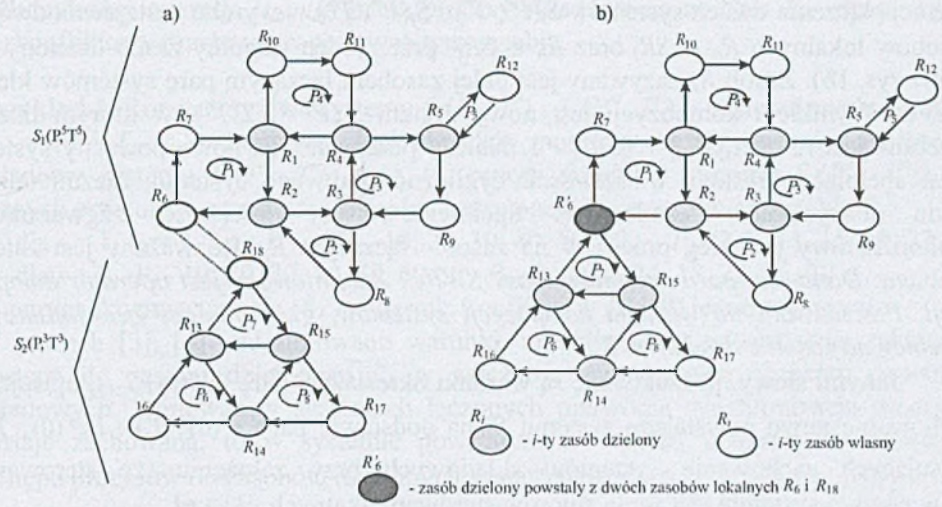
## 2. Systemy Współbieżnych Procesów Cyklicznych

Przez SWPC rozumiany jest zbiór wykonujących się współbieżnie procesów cyklicznych, wykorzystujących zasoby dzielone w trybie wzajemnego wykluczania. Przyjmuje się, że:

- ✓ rozpoczęcie kolejnej operacji procesu następuje natychmiast po zakończeniu operacji bieżącej, pod warunkiem, że istnieje możliwość wykorzystania zasobu, na którym ma dojść do rozpoczęcia kolejnej operacji,
- ✓ w czasie oczekiwania na zajęty zasób proces nie zwalnia wcześniej przydzielonego mu zasobu.

Proces cykliczny $P_i$ jest $n$-tką, której elementy określają numery zasobów wykorzystywanych przez proces: $P_i = (p_{i,1}, p_{i,2}, ..., p_{i,n})$, gdzie $p_{i,j}$ oznacza numer zasobu wykorzystywanego przez $i$-ty proces w $j$-tej operacji. Reprezentację czasową procesu cyklicznego stanowi $n$-tka, której elementy określają czasy wykonania poszczególnych operacji przez $i$-ty proces: $T_i = (t_{i,1}, t_{i,2}, ..., t_{i,n})$, gdzie $t_{i,j}$ jest czasem wykonywania przez $i$-ty proces $j$-tej operacji. Ponieważ SWPC stanowi zbiór procesów, to struktura $j$-tego systemu oraz parametry jego elementów składowych (tzn. czasy operacji wykonywanych przez procesy) mogą być opisane przez dwie $n$-tki: $P^n = (P_1, P_2, ..., P_n)$, $T^n = (T_1, T_2, ..., T_n)$, które określają strukturę systemu oraz parametry procesów składowych (rys 1). $S_j(P^n, T^n)$ oznacza $j$-ty system składający się z n procesów składowych. Zbiór zasobów $j$-tego systemu jest zdefiniowany następu-

jąco: $SR_i = \{R_1, R_2, \ldots, R_q\}$, gdzie $R_k$ oznacza $k$-ty zasób.




Rys. 1. Struktury systemów: a) $S_1(P^5, T^5)$ i $S_2(P^3, T^3)$ b) $S_3(P^8, T^8)$ powstałego z połączenia $S_1(P^5, T^5)$ i $S_2(P^3, T^3)$

Reguły synchronizacji procesów są reprezentowane przez zbiór: $\Theta_j = \{\sigma_i, \sigma_k, \ldots, \sigma_n\}$, gdzie $\Theta_j$ jest zbiorem sekwencji dostępu procesów do zasobów w $j$-tym systemie, natomiast $\sigma_i = (P_j, P_k, \ldots, P_n)$ jest $n$-tką określającą porządek, w którym procesy uzyskują dostęp do $i$-tego zasobu ($\mathrm{crd}_k\sigma_i$ oznacza $k$–tą współrzędną wektora $\sigma_i$).

Stan początkowy $S_{0j}$ systemu $j$-tego jest wektorem, którego elementy określają alokacje procesów na poszczególnych zasobach: $S_{0j} = (P_i, P_k, \Lambda, \ldots, P_l\}$, gdzie $\mathrm{crd}_k S_{0j} = P_i$ wówczas gdy, na $k$-tym zasobie jest w stanie początkowym zaalokowany $i$-ty proces, $\mathrm{crd}_k S_{0j} = \Lambda$ wówczas gdy, na $k$-tym zasobie nie jest zaalokowany żaden proces. Przebieg $j$-tego systemu determinuje: jego okres $T_{sj}$ oraz wektor stanu $x^j(k) = (x_1^j(k), x_2^j(k), \ldots, x_d^j(k))$, gdzie $x_i^j(k)$ reprezentuje $i$-tą operację w $j$-tym systemie, a wartość $x_i^j(k)$ oznacza moment rozpoczęcia $i$-tej operacji w $k$-tej iteracji. Wartości okresu $T_{sj}$ oraz wektora stanu $x^j(k) = (x_1^j(k), x_2^j(k), \ldots, x_d^j(k))$ stanowią wynik procedury syntezy modelu algebraicznego ((max, +) algebra) [2], [3], [5] systemu klasy SWPC. Danymi wejściowymi procedury budowy modelu analitycznego są struktura analizowanego systemu oraz gwarantujące jego cykliczne zachowanie: stan początkowy oraz zbiór reguł wyboru priorytetu [3], [4], [6].

## 3. Sformułowanie problemu

Zasady kompozycji systemów klasy SWPC określa poniższa definicja.

**Definicja.** Dane są dwa systemy $S_i(P^n, T^n)$, $S_j(P^m, T^m)$. Operator kompozycji $\otimes(R_a, R_b)$, $R_a \in SR_i$, $R_b \in SR_j$ na zasobach $R_a$, $R_b$ jest zdefiniowany następująco:

$$\otimes(R_a, R_b) = R_r \in SR_i \cap SR_j$$

gdzie: $R_a \in SR_i$, $R_b \in SR_j$, $R_r \in SR_i \cap SR_j$, $C(R_r) = 1$, $C(R_i)$ - pojemność $i$-tego zasobu.

Z definicji wynika, że operacja kompozycji pary systemów klasy SWPC jest operacją łączenia dwóch systemów $S_i(P^n, T^n)$ i $S_j(P^m, T^m)$ w wyniku zastąpienia dwóch zasobów lokalnych $R_a \in SR_i$ oraz $R_b \in SR_j$ przez jeden wspólny zasób dzielony $R_r$ (patrz rys. 1b). Zasób $R_r$ nazywany jest dalej zasobem łączącym parę systemów klasy SWPC. Wynikiem kompozycji jest nowy system $S_k(P^{n+m}, T^{n+m})$, w którym liczba zasobów jest równa $||SR_i|| + ||SR_j|| - 1$. Należy podkreślić, że nowo powstały system musi spełniać określone właściwości: cykliczność nowego systemu, niezmienność cyklu podsystemów składowych. Spełnienie tych właściwości zagwarantuje bezkonfliktowy przebieg procesów na zasobie łączącym $R_r$. Rozważany jest zatem problem: *Dana jest para systemów klasy SWPC. Zdefiniowany jest operator kompozycji. Poszukiwane są warunki kompozycji systemów, gwarantujące bezkonfliktowy przebieg na zasobie dzielonym $R_r$.*

Innymi słowy, poszukiwane są warunki określające parę $(x^k(0), T_{sk})$, opisującą zachowanie nowo powstałego systemu $S_k$ na podstawie par $(x^i(0), T_i)$ *i* $(x^j(0), T_j)$, opisujących zachowanie systemów składowych przy założeniu, że sterowanie $\Theta_k$ w nowym systemie jest sumą zbiorów sterowań lokalnych $\Theta_i \cup \Theta_j$.

## 4. Kompozycja systemów

Parametrami wejściowymi procedury kompozycji systemów klasy SWPC są:

- ✓ Systemy składowe: $S_i(P^n, T^n)$, $S_j(P^m, T^m)$.
- ✓ Cykliczne przebiegi systemów składowych. Przebieg *i*-tego systemu składowego jest opisywany przez okres $T_{si}$ oraz wektor stanu $x_k^i(0)$.

Poniższe twierdzenia określają warunki, gwarantujące bezkonfliktowy przebieg procesów na zasobie $R_r$.

**Twierdzenie 1.** Dane są dwa systemy $S_i(P^n, T^n)$ i $S_j(P^m, T^m)$ oraz operator kompozycji $\otimes(R_a, R_b) = R_r$, $R_a \in SR_i$, $R_b \in SR_j$. Dane są okresy systemów $T_{si}$ oraz $T_{sj}$. Jeżeli poniższy warunek jest spełniony, to istnieje para $(S_{0k}, \Theta_k)$, gwarantująca bezkonfliktowy przebieg procesów na zasobie $R_r$.

*i.* $\exists p \in N, p>1 : T_{si} \bmod p = 0 \wedge T_{sj} \bmod p = 0$

*ii.* $T_{si} \le T_{sj}$, $\exists s \in \{1, 2, l-1, l+1, l+2, ..., 2l-1, 2l+1, 2l+2, ..., nl-1, nl+2, ...., T_j-1\}$:

$$t_{dj} \le l - (s \bmod l) \wedge t_{di} \le s \bmod l,$$

gdzie: $t_{di}$ – dopuszczalny czas operacji wykonywanej przez m-ty proces na zasobie $R_a$,
$t_{dj}$ – dopuszczalny czas operacji wykonywanej przez h-ty proces na zasobie $R_b$,
$l = \mathrm{NWP}(T_i, T_j)$, NWP oznacza największy wspólny podzielnik.[1]

Warunek i) twierdzenia 1 jest warunkiem koniecznym, którego spełnienie gwarantuje istnienie takiej kompozycji systemów, gdzie w nowym systemie nie występuje konflikt procesów na zasobie $R_r$.

Istotnym elementem kompozycji systemów jest określenie odpowiedniego przedziału czasowego pomiędzy żądaniami procesów w dostępie do zasobu łączącego $R_r$. Warunek ii) określa dopuszczalne przesunięcia *s* pomiędzy żądaniami procesów

[1] Dowody twierdzeń zostały pominięte ze względu na ograniczoną objętość pracy.

w dostępie do zasobu dzielonego oraz związane z nimi dopuszczalne czasy wykonywania operacji ($t_{di}$, $t_{dj}$) przez procesy składowe na zasobie $R_r$, gwarantujące bezkonfliktowy przebieg procesów na tym zasobie.

**Przykład 1.** Rozważmy dwa systemy $S_1(P^n, T^n)$ i $S_2(P^m, T^m)$ o następujących okresach $T_{s1} = 10$ i $T_{s2} = 4$. Poniższe ciągi określają momenty żądań procesów $P_i$ (proces składowy systemu $S_1(P^n, T^n)$) oraz $P_j$ (proces składowy systemu $S_2(P^m, T^m)$) dla różnych przesunięć $s$ oraz dopuszczalne czasy operacji procesów na zasobie $R_r$:

✓ dla $s = 1$, $t_{di} = 1$, $t_{dj} = 1$, $P_i$ - 10, 20, 30, 40, 50, 60,.... $P_j$ - 3, 7, 11, 15, 19, 23,....

✓ dla $s = 2$, $P_i$ - 10, 20, 30, 40, 50, 60,.... $P_j$ - 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30 ....

W przypadku przesunięcia $s$=2 występują konflikty w 10 i 30 jednostce czasu.

W pracach [3], [4] zdefiniowano warunki, umożliwiające wyznaczenie sekwencji dostępu do zasobu dzielonego $R_r$ w zależności od wartości okresów systemów składowych. Ponieważ w systemach łączonych pierwotna synchronizacja procesów zostaje zachowana, to w systemie powstałym w wyniku kompozycji, sekwencje dostępu procesów do zasobów dzielonych są następujące: $\Theta_k = \Theta_i \cup \Theta_j \cup \{\sigma_r\}$.

**Twierdzenie 2.** Dane są dwa systemy $S_i(P^n, T^n)$ i $S_j(P^m, T^m)$ oraz operator kompozycji $\otimes(R_a, R_b) = R_r$, $R_a \in SR_i$, $R_b \in SR_j$. Dane są okresy systemów $T_{si}$ oraz $T_{sj}$ oraz wektory $x_k^i$, $x_k^j$. Warunki Twierdzenia 1 są spełnione. Para ($x_k^k$, $T_k$), określająca przebieg systemu $S_k(P^{n+m}, T^{n+m})$, wyznaczona zgodnie z poniższymi warunkami, gwarantuje bezkonfliktowy przebieg procesów na zasobie $R_r$.

i. $T_{si} \geq T_{sj}$: $x^k(0) = (x_k^i(0), x_k^i(1),..., x_k^i(l_i - 1), x_k^{'j}(0), x_k^{'j}(0),..., x_k^{'j}(l_j - 1))$,

$$x_k^i(d) = x_k^i(0) + dT_{si}, x_k^{'j}(d) = x_k^{'j}(0) + dT_{sj}, \forall d \in N$$

$$\mathrm{crd}_a x^{'j}(0) = \mathrm{crd}_b x^i(0) - (T_i - T_j + s),$$

$$\forall c \neq a, c \in \{1,2,..., \| x_k^j \|\}, \mathrm{crd}_c x^{'j}(0) = \mathrm{crd}_c x^j(0) + t, \; t = \mathrm{crd}_a x^{'j}(0) - \mathrm{crd}_a x_k^j(0).$$

ii. $T_k = \mathrm{NWW}(T_i, T_j)$,

gdzie: $l_i$=NWW($T_{si}$, $T_{sj}$)/$T_{si}$, $l_j$=NWW($T_{si}$, $T_{sj}$)/$T_{sj}$, $\mathrm{crd}_b x^i(0)$, $\mathrm{crd}_a x^j(0)$ współrzędne określające odpowiednio momenty rozpoczęć operacji wykonywanej przez $h$-ty proces na zasobie $R_a$ oraz przez $m$-ty proces na zasobie $R_b$ w zerowej iteracji, $s$ jest przesunięciem pomiędzy żądaniami procesów w dostępie do zasobu $R_r$ wyznaczonym zgodnie z warunkami twierdzenia 1.

Warunki powyższego twierdzenia pozwalają na specyfikację wektora $x_k^k$ oraz wartości okresu $T_{sk}$ dla systemu $S_k(P^{n+m}, T^{n+m})$ będącego kompozycją systemów $S_i(P^n, T^n)$ i $S_j(P^m, T^m)$. Wektor $x_k^k$ jest budowany zgodnie z poniższymi regułami:

✓ Pierwsze $l_i$ wierszy (numerowanych od 0 do $l_i$-1) reprezentuje operacje wykonywane przez procesy z systemu $S_i(P^n, T^n)$. Wartość $l_i$ oznacza liczbę powtórzeń wykonywania operacji z systemu $S_i(P^n, T^n)$ w okresie pracy systemu $S_k(P^{n+m}, T^{n+m})$. Stąd, w kolejnym powtórzeniu (kolejny wiersz) moment rozpoczęcia operacji jest zwiększany o wartość $T_i$.

✓ Kolejne $l_j$ wierszy (numerowanych od $l_i$ do $l_i$+$l_j$) reprezentuje operacje wykonywane przez procesy z systemu $S_j(P^m, T^m)$. Wartość $l_j$ oznacza liczbę powtórzeń wykonywania operacji z systemu $S_j(P^m, T^m)$ w okresie pracy systemu

$S_k(P^{n+m}, T^{n+m})$. Stąd w kolejnym powtórzeniu (kolejny wiersz) moment rozpoczęcia operacji jest zwiększany o wartość $T_j$.

✓ W celu uwzględnienia przyjętego przesunięcia $s$ w żądaniach procesów składowych w dostępie do zasobu $R_r$ został wyznaczony nowy wektor $x^{rj}(0)$.

**Przykład 2.** W niniejszym przykładzie pokazano kompozycje pary systemów klasy SWPC, której realizacja jest oparta na warunkach zdefiniowanych w twierdzeniach 1 i 2. Danymi wejściowymi są systemy o następujących parametrach (rys. 1a):

**System 1.** $S_1(P^5, T^5)$, $P^5 = (P_1, P_2, ..., P_5)$, $T^5 = (T_1, T_2,..., T_5)$, $P_1 = (1, 2, 6, 7)$, $P_2 = (2, 3, 8)$, $P_3 = (3, 4, 5, 9)$, $P_4 = (4, 1, 10, 11)$, $P_5 = (5, 12)$, $T_1 = (3, 5, 3, 5)$, $T_2 = (4, 3, 1)$, $T_3 = (4, 2, 3, 1)$, $T_4 = (3, 2, 1, 2)$, $T_5 = (5, 3)$; $\Theta_1 = \{\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5)$, $\sigma_1 = (P_1, P_4)$, $\sigma_2 = (P_1, P_2)$, $\sigma_3 = (P_2, P_3)$, $\sigma_4 = (P_3, P_4)$, $\sigma_5 = (P_3, P_5)$.

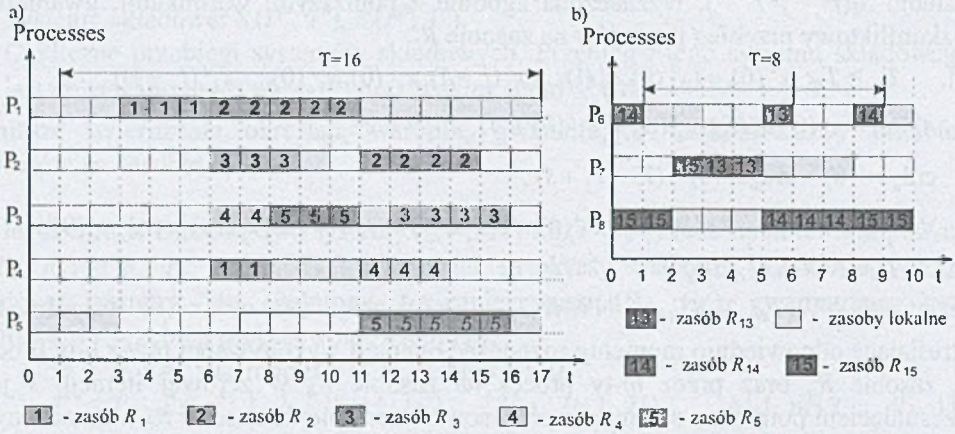
**System 2.** $S_2(P^3, T^3)$, $P^3 = (P_6, P_7, P_8)$, $T^3 = (T_6, T_7, T_8)$, $P_6 = (13, 14, 16)$, $P_7 = (15, 13, 18)$, $P_8 = (14, 15, 17)$, $T_6 = (1, 1, 2)$, $T_7 = (1, 2, 3)$, $T_8 = (3, 2, 3)$, $\Theta_2 = \{\sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15})$, $\sigma_{13} = (P_6, P_7)$, $\sigma_{14} = (P_6, P_8)$, $\sigma_{15} = (P_7, P_8)$.

Przebiegi systemu są opisane przez wektor stanu oraz okres systemu (rys 2).

**System 1.** $x^1(k) = (x_1^1(k), x_2^1(k)..., x_{17}^1(k))$

$T_{s1}$=16, $x^1(0) = (3,6,11,14,11,6,9,12,6,8,11,11,6,8,9,11,0)$

**System 2.** $x_k^2(k) = (x_1^2(k), x_2^2(k),..., x_9^1(k))$, $T_{s2} = 8$, $x^2(0) = (5,0,1,2,3,5,5,0,2)$




Rys. 2. Diagramy Gannt'a dla systemów: a) $S_1(P^5, T^5)$, b) $S_2(P^3, T^3)$

**Kompozycja systemów**

Parametry przebiegów systemów $S_1(P^5, T^5)$, $S_2(P^3, T^3)$ spełniają warunek i) twierdzenia 1.

W oparciu o warunek ii) twierdzenia 1 wyznaczono czasy $t_{d1}$, $t_{d2}$ dla różnych przesunięć $s$ związanych z żądaniami procesów w dostępie do zasobu łączącego systemy: $s = 1$ - $t_{d1} = 7$, $t_{d2} = 1$; $s = 2$ - $t_{d1} = 6$, $t_{d2} = 2$; $s = 3$ - $t_{d1} = 5$, $t_{d2} = 3$; $s = 4$ - $t_{d1} = 4$, $t_{d2} = 4$; $s = 5$ - $t_{d1} = 3$, $t_{d2} = 5$; $s = 6$ - $t_{d1} = 2$, $t_{d2} = 6$; $s = 7$ - $t_{d1} = 1$, $t_{d2} = 7$.

Realizacja kolejnego etapu kompozycji systemów sprowadza się do wyboru zasobów lokalnych, na których czasy operacji wykonywanych przez procesy są mniejsze lub równe od czasów dopuszczalnych $t_{d1}$, $t_{d2}$. Czasy operacji wykonywanych,

odpowiednio przez procesy $P_1$ i $P_7$, na zasobach $R_6 \in SR_1$ i $R_{18} \in SR_2$ wynoszą 3. Dla $s = 3$, $s = 4$, $s = 5$ czasy $t_{d1} \geq 3$ i $t_{d2} \geq 3$. Z powyższego wynika, że operator kompozycji może być zdefiniowany następująco: $\otimes(R_6, R_{18}) = R'_6$, gdzie $R_6 \in SR_1$, $R_{18} \in SR_2$, $R'_6 \in SR_3$. Zasób dzielony $R'_6$ jest nowym zasobem powstałym z połączenia dwóch zasobów lokalnych $R_6$ oraz $R_{18}$.

Sekwencja dostępu do zasobu dzielonego $R'_6$ jest następująca: $\sigma'_6 = (P_1, P_7, P_7)$

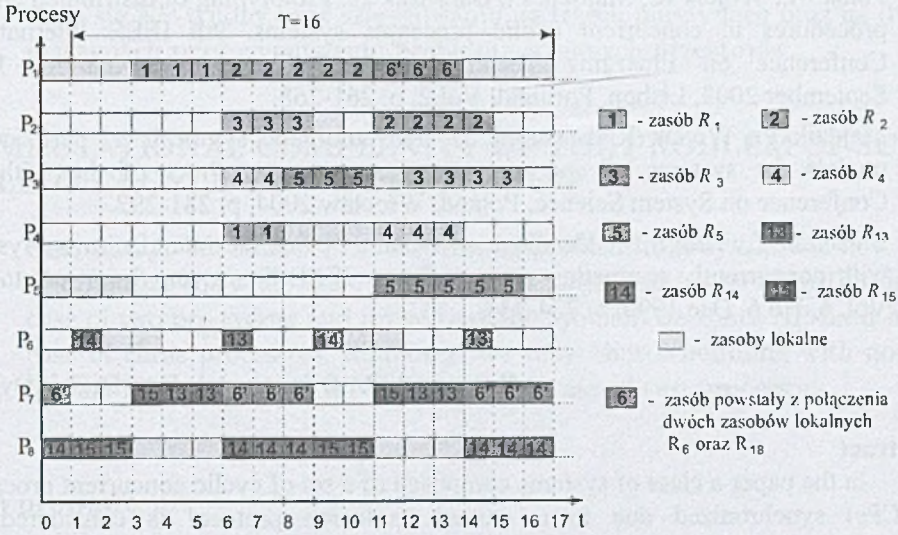
Zgodnie z warunkami twierdzenia 2 wyznaczono wektor $x_k^3$ i $T_{s3}$.

$x'^2(0) = (6, 1, 2, 3, 4, 6, 6, 1, 3)$, $x^3(0) = (x_k^1(0), x_k'^2(0), x_k'^2(1))$

$x^3(0) = (x_1^1(0), x_2^1(0), \ldots, x_{17}^1(0), x_1'^2(0), x_2'^2(0), \ldots, x_9'^2(0), x_1'^2(1), x_2'^2(1), \ldots, x_9'^2(1)) =$

(3,6,11,14,11, 6, 9, 12, 6, 8, 11, 11, 6, 8, 9, 11, 0, 6, 1, 2, 3, 4, 6, 6, 1, 3, 14, 9, 10, 11, 12, 14,14,9, 11); $T_{s3} = \mathrm{NWW}(T_1, T_2) = 16$.

Przebieg systemu $S_3(P^8, T^8)$ jest przedstawiony na rysunku 3. Łatwo zauważyć, że nie występują konflikty na zasobie dzielonym $R'_6$.




Rys. 3. Diagram Gannt'a dla systemu $S_3(P^8, T^8)$ będącego kompozycją systemów $S_1(P^5, T^5)$ i $S_2(P^3, T^3)$.

## 5. Wnioski

W pracy przedstawiono kompozycje systemów klasy SWPC opartą na warunkach wystarczających, gwarantujących, że nowo powstały system cechują określone właściwości, np. zachowanie systemu stanowi pewną wypadkową przebiegów systemów składowych, okres systemu jest pewną funkcją okresów systemów składowych. Wyprowadzone warunki wystarczające gwarantują bezkonfliktowy przebieg procesów na nowo powstałym zasobie dzielonym, co w konsekwencji zapewnia spełnienie żądanych właściwości.

Zaproponowana operacja kompozycji umożliwia budowę struktur algebraicznych wykorzystywanych w procesie syntezy systemów klasy SWPC. Oznacza to możliwość budowy struktur bardziej złożonych o z góry przewidywalnych właściwoś-

ciach, ze zbioru arbitralnie wybranych struktur elementarnych. Możliwość ta, dostarcza podstaw formalnych niezbędnych przy budowie systemów wspomagania decyzji zorientowanych na zarządzanie przepływem danych w sieciach komputerowych.

LITERATURA

1. Abrams M., Doraswamy N., Mathur A.: Chitra: Visual analysis of parallel and distributed programs in the time, event, and frequency domains. IEEE Trans. on Parallel and Distrib. Syst., Vol.3, No.6, 1992, p. 672-685.
2. Baccelli F.L. et al.: Synchronization and linearity An algebra for discrete event systems. John Wiley & Sons, N.Y., Toronto 1992.
3. Polak M., Majdzik P., Banaszak Z.A., Wójcik R: The performance evaluation tool for automated prototyping of concurrent cyclic processes. Fundamenta Informaticae, Vol.60, No.1-4, 2004, p. 269-289.
4. Polak M., Wójcik R., Majdzik P., Banaszak Z.: Prototyping of distributed control procedures in concurrent cyclic processes systems. 9th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 16-19 September 2003, Lisbon, Portugal, Vol.2, p. 261-268.
5. Majdzik P., Wójcik R, Banaszak Z.: An automatic synthesis of performance models for systems of concurrent cyclic processes. Proc. of the 15th Int. Conference on System Science, Poland, Wrocław 2004, p. 281-292.
6. Banaszak Z., Krogh B.: Deadlock avoidance in flexible manufacturing systems with concurrently competing process flows. IEEE Trans. on Robot. Automat., Vol. 6, No.6, Dec.1990, p. 724-734.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ewa Dudek-Dyduch

**Abstract**

In the paper a class of systems composed of a set of cyclic concurrent processes (SCCPs) synchronized due to a mutual exclusion protocol is considered. Its contribution is to presented conditions sufficient for coupling pairs of elements from the class of SCCPs. A newly obtained system treated as result of such two systems composition also belongs to SCCPs. Moreover, periods of component processes are preserved. Due to the operation introduced two systems are joined together through a common resource. The resource replaces two unshared resources from coupling pair of systems, i.e. resources defined in composition operator. The composition introduced provides an algebraic framework that can be used as a formal framework in course of decision support systems design. Such systems, in turn can be used for prototyping of the admissible computer network topology and data routings as well as for management of assumed quality transmissions.