

Jerzy ZAJĄC
Politechnika Krakowska

NOWA METODA ROZWIĄZYWANIA PROBLEMU BLOKAD W ROZPROSZONYM SYSTEMIE STEROWANIA WYTWARZANIEM

Streszczenie. W pracy zaprezentowano nową metodę postępowania z blokadami w rozproszonym, wieloagentowym systemie wytwarzania. Metoda wprowadza podział zasobów wytwórczych na obiekty bezblokadowe i obiekty zagrożone blokadą oraz określa reguły postępowania, które muszą być przestrzegane, aby do blokady nie doszło. Proponowane reguły można łatwo zastosować w systemie sterowania.

NEW METHOD OF DEADLOCK HANDLING IN DISTRIBUTED MANUFACTURING CONTROL SYSTEM

Summary. In the paper, a new deadlock handling method for distributed multiagent manufacturing system is presented. The method divides manufacturing resources into deadlock-free objects and deadlock-risk objects and introduces two restriction policies. The proposed policies are suitable for real time implementation due to small on-line computational costs.

1. Wprowadzenie

Blokada jest zjawiskiem negatywnym, polegającym na braku możliwości kontynuacji procesu z powodu niemożności zgromadzenia zasobów niezbędnych do jego realizacji. Stosowane są trzy zasadnicze strategie postępowania z blokadami: wykrywanie i likwidacja, zapobieganie oraz unikanie. Analizując bibliografię dotyczącą problematyki unikania blokad w systemach wytwarzania zauważyć można różne sposoby podejścia do rozwiązania tego zagadnienia. Jeden z częściej stosowanych sposobów polega na badaniu cykli w grafie żądań zasobowych, np. [3]. Ponieważ jednak zagadnienie unikania blokad, będące zadaniem alokacji zasobów, należy w ogólnym przypadku do problemów trudnych [4], biorąc pod uwagę złożoność obliczeniową, to efektywne jego rozwiązanie jest możliwe jedynie po

wprowadzeniu dodatkowych ograniczeń. Wprowadzenie założenia, że każda maszyna w systemie wytwarzania posiada bufor wejściowy i bufor wyjściowy, umożliwia zmniejszenie złożoności obliczeniowej algorytmu unikania blokad [5]. W pracy [1] zaproponowano metodę unikania blokad w systemach wytwarzania dzięki korzystaniu z tzw. stref synchronizacji. Polega ona na tym, że proces wytwarzania realizowany zgodnie z marszrutą może zmienić strefę tylko wtedy, gdy pojemność zbioru zasobów dedykowanych (wykorzystywanych jednokrotnie i tylko przez jeden proces) w nowej strefie przekracza liczbę realizowanych w niej procesów. Ponadto, jeżeli realizowany proces wymaga aktualnie zasobu dzielonego (wykorzystywanego wielokrotnie), to wszystkie kolejne zasoby dzielone w tej strefie muszą być dostępne w tym czasie. Zmodyfikowaną wersję opisaną metodę zaprezentowano w referacie [6].

W niniejszej pracy zaproponowano nową metodę przeciwdziałania blokadom przystosowaną do wykorzystania w rozproszonym systemie sterowania wytwarzaniem. Ma ona cechy zarówno metod zapobiegania blokadom, jak i metod unikania blokad. Metoda ta wykorzystuje specyfikę procesów wytwarzania polegającą na istnieniu ścisłego związku pomiędzy kwestią występowania blokad w systemie wytwarzania a strukturą powiązań występujących w grafie zadań zasobowych, wynikającą z realizowanych w systemie procesów. Zaproponowana metoda może być zastosowana bezpośrednio w systemach wytwarzania nowej generacji wykorzystujących rozproszone, wieloagentowe systemy sterowania wytwarzaniem [7].

2. Przeciwdziałanie blokadom w rozproszonym systemie wytwarzania

Wprowadza się pojęcie *system wytwarzania MS* jako szóstkę uporządkowaną $MS = (O, A, R, K, MP, S)$, gdzie O – skończony zbiór obiektów elementarnych, A – skończony zbiór czynności elementarnych, R – relacja realizacji, K – funkcja pojemności przedmiotowej, MP – dyskretny proces wytwarzania, S – stan systemu wytwarzania. Zbiór O jest podzielony na dwa rozłączne podzbiory OM i WP . *OM interpretuje się jako zbiór obiektów wytwórczych (agentów) tworzących skład systemu wytwarzania, natomiast zbiór WP jest traktowany jako zbiór przedmiotów wytwarzanych w tym systemie (przepływających przez ten system)*. Zbiór OM jest podzielony na dwa rozłączne podzbiory OW i OP . *OW interpretuje się jako zbiór obiektów wykonawczych, których charakterystyczną cechą jest to,*

że „przetrzymują” przedmioty przed i po wykonaniu czynności, natomiast zbiór OP zawiera obiekty pomocnicze niezbędne do realizacji czynności, ale nie posiadające wymienionych cech obiektów wykonawczych. Pomiędzy zbiorem obiektów O a zbiorem czynności A istnieje relacja $R \subseteq O \times A$, zwana *relacją realizacji*. Każdy obiekt $o_k \in O$ bierze udział w realizacji skończonego, niepustego zbioru czynności elementarnych $AO_k = \{ a_j \in A : (o_k, a_j) \in R \}$ a do wykonania czynności $a_j \in A$ niezbędny jest zbiór obiektów $OA_j = \{ o_k \in O : (o_k, a_j) \in R \}$. W systemie realizowane są współbieżnie procesy MP_i wytwarzania przedmiotów $wp_i \in WP$. Każda czynność elementarna a_j , będąca etapem procesu wytwarzania, wymaga udziału jednego przedmiotu $wp_i \in (OA_j \cap WP)$. Wykonanie czynności elementarnej powoduje zmianę stanu systemu S . W zbiorze obiektów OA_j realizujących czynność a_j wyróżnić można *obiekt wejściowy* (obiekt wykonawczy, na którym znajduje się przedmiot przed wykonaniem czynności), *obiekt wyjściowy* (obiekt wykonawczy, na którym znajduje się przedmiot po wykonaniu czynności) oraz obiekty pomocnicze (dodatkowe), niezbędne do realizacji czynności. W przypadkach szczególnych obiekt wejściowy i obiekt wyjściowy mogą być tożsame, co występuje np. w czynnościach obróbkowych. Zawsze jednak, biorąc pod uwagę dwie kolejne czynności realizowane w ramach procesu wytwarzania MP_i , obiekt wyjściowy dla czynności a_j jest jednocześnie obiektem wejściowym dla czynności a_{j+1} . Przyjęto, że do wykonania czynności a_j niezbędne jest *zarezerwowanie czynnościowe* wszystkich obiektów wytwórczych $o_k \in (OA_j \cap OM)$, które zwalniane są po zakończeniu realizacji czynności. Obiekty zarezerwowane czynnościowo mogą brać udział wyłącznie w realizacji czynności, dla których zostały zarezerwowane.

Jednym z warunków koniecznych wystąpienia blokady jest przetrzymywanie obiektów przez procesy, które oczekują jednocześnie na zarezerwowanie dalszych obiektów. Rozpatrzmy wpływ obydwu podzbiorów zbioru obiektów wytwórczych, tj. obiektów pomocniczych i obiektów wykonawczych, na powstawanie blokady. Przyjęcie założenia o rezerwowaniu czynnościowym wszystkich obiektów niezbędnych do realizacji czynności elementarnej jeszcze przed jej rozpoczęciem oraz zwalnianiu ich po jej zakończeniu oznacza, że obiekty pomocnicze nie mogą być „przyczyną” powstania blokady. System sterowania może bowiem zawsze doprowadzić do sytuacji, w której wszystkie takie obiekty będą wolne. Wymaga to po prostu zakończenia realizowanych aktualnie w systemie czynności bez uruchamiania w tym czasie nowych czynności. W przypadku drugiego podzbioru obiektów wytwórczych, tzn. obiektów wykonawczych, mamy do czynienia z sytuacją odmienną. Zwolnienie obiektu wykonawczego, na którym znajduje się przedmiot, nie jest równoważne

możliwości jego wykorzystania przez inne procesy. Oznacza to, że w konsekwencji wykonania kolejnej czynności z udziałem tego obiektu może powstać blokada. Reasumując można więc stwierdzić, że dla przyjętego podziału zbioru obiektów (agentów) wytwórczych obiektami „odpowiedzialnymi” za powstawanie blokad są jedynie obiekty wykonawcze.

Dla każdego obiektu wykonawczego ow_k wyznaczyć można zbiory obiektów *poprzedzających i następujących*. Elementami tworzącymi te zbiory są odpowiednio obiekty wejściowe i wyjściowe dla czynności elementarnych $a_j \in AO_k$ realizowanych przez ten obiekt wykonawczy.

Rozpatrując problem powstawania blokady z punktu widzenia pojedynczego obiektu wykonawczego, sformułujmy obecnie warunek wystarczający, aby obiekt ten nie powodował blokady w wyniku wykonania czynności, dla której jest obiektem wyjściowym.

Lemat 1

Warunkiem wystarczającym, aby obiekt wykonawczy ow_k nie powodował powstania blokady w wyniku wykonania jednej ze swoich czynności elementarnych, dla których jest obiektem wyjściowym, jest posiadanie przez niego jednego (poza sobą samym) obiektu poprzedzającego.

Dowód

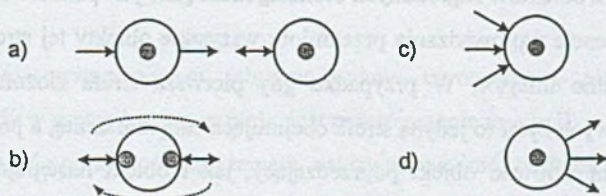
Dowód ma charakter dedukcyjny. Zastanówmy się, jakie znaczenie dla procesu powstawania blokady ma fakt, że obiekt wykonawczy ma co najwyżej jeden poza sobą samym obiekt poprzedzający. Oznacza to, że istnieje tylko jeden obiekt wykonawczy różny od niego i występujący bezpośrednio przed nim w sensie kolejności wynikającej z realizowanych marszrut w ramach procesów wytwórczych. Implikuje to, oczywiście, istnienie pomiędzy tymi dwoma obiektami tylko jednego powiązania mogącego tworzyć zamknięte cykle wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów. Wykonanie czynności elementarnej, w wyniku której nastąpi przemieszczenie przedmiotu z obiektu poprzedzającego na obiekt rozpatrywany, nie spowoduje jednak powstania blokady, bo konsekwencją zajęcia miejsca na rozpatrywanym obiekcie jest równocześnie zwolnienie miejsca na obiekcie poprzedzającym. Nie powstanie więc cykl wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów. Ze względu na to, że jeden z warunków koniecznych powstania blokady nie zajdzie, blokada nie wystąpi. Biorąc pod uwagę czynności, dla których obiekt wykonawczy jest sam dla siebie obiektem poprzedzającym, do blokady nie dojdzie, ponieważ rozpatrywane czynności nie wiążą się ani z „przepływem” przedmiotów, ani z żądaniem dla nich dodatkowych miejsc. Patrząc więc na tę sytuację wyłącznie w kontekście problematyki przeciwdziałania blokadom, można

powiedzieć, że przed i po wykonaniu takiej czynności mamy do czynienia z analogicznym stanem systemu wytwarzania. Ponieważ dla obu rozważanych wyżej sytuacji do blokady nie dojdzie, przedstawiony w lemacie warunek wystarczający jest prawdziwy.

Wprowadza się pojęcie *obiektu bezblokadowego*. Obiekt wykonawczy ow_k nazwiemy bezblokadowym, jeżeli:

- posiada jeden obiekt poprzedzający i jeden obiekt następujący (rys. 1.a),
- posiada dwa obiekty poprzedzające będące równocześnie obiektami następującymi, a każdy przedmiot wp_i przepływający przez jeden z obiektów poprzedzających przepływać musi również przez drugi z wymienionych obiektów (zanim ewentualnie wróci na pierwszy). Zaznaczono to symbolicznie strzałką przerywaną na rys. 1.b. Ponadto pojemność przedmiotowa $K(ow_k)$ rozważanego obiektu musi być większa lub równa dwa, a dla każdego z obiektów poprzedzających obiekt ow_k „dedykuje” jedno miejsce, które nie może być nigdy zajęte przez przedmiot przepływający z drugiego z tych obiektów. W przypadku gdy pojemność przedmiotowa $K(ow_k)$ jest większa od dwóch, pozostałe „niededykowane” miejsca mogą być wykorzystane dowolnie przez przedmioty przepływające przez obiekt ow_k ,
- posiada dowolną liczbę obiektów poprzedzających i nie posiada żadnego obiektu następującego (rys. 1.c). Przyjmuje się, że zakończenie ostatniej czynności realizowanej w procesie MP_i powoduje usunięcie przedmiotu wp_i z systemu,
- posiada dowolną liczbę obiektów następujących i nie posiada żadnego obiektu poprzedzającego (rys. 1.d).

Na rys. 1 przedstawiono schematycznie obiekty bezblokadowe. Wypełnione okręgi wewnątrz obiektu oznaczają minimalną liczbę miejsc niezbędnych dla jego bezblokadowego „działania”. Umieszczenie miejsca przy wejściu (rys. 1.b) oznacza symbolicznie, że to miejsce jest „dedykowane” dla przedmiotów przepływających wyłącznie z tego wejścia.



Rys. 1. Obiekty bezblokadowe

Fig. 1. Deadlock-free objects

W zaprezentowanej w niniejszej pracy metodzie przeciwdziałania blokadom przyjmuje się założenie, że dla każdego procesu wytwarzania MP_i obiekt wyjściowy dla jego ostatniej czynności jest obiektem bezblokadowym.

Realizacja procesu wytwarzania MP_i przedmiotu wp_i polega na sekwencyjnym wykonywaniu czynności elementarnych tworzących marszrutę technologiczną, a efektem tych działań jest przepływ przedmiotu wp_i przez ciąg obiektów wykonawczych leżących na rozpatrywanej marszrucie. Wymieniony ciąg obiektów wykonawczych można podzielić na strefy złożone wyłącznie z obiektów bezblokadowych i strefy złożone wyłącznie z obiektów nie będących obiektami bezblokadowymi, które w dalszej części pracy nazywane są zagrożonymi blokadą. Przyjęto, że poszczególne strefy są maksymalne, co oznacza, że występują na przemian w wymienionym ciągu obiektów wykonawczych.

Wprowadza się pojęcie *rezerwacja procesowa* miejsca na obiekcie bezblokadowym. Przyjęto, że ten sposób rezerwacji umożliwia przyporządkowanie każdemu wolnemu miejscu¹ na bezblokadowym obiekcie wykonawczym OW_k co najwyżej jednego przedmiotu wp_i . Takie miejsce może być jednak wielokrotnie rezerwowane procesowo dla tego samego przedmiotu. Opuszczenie przez przedmiot wp_i strefy złożonej z obiektów bezblokadowych powoduje odwołanie jednorazowej rezerwacji procesowej dokonanej dla tego przedmiotu.

Proponowana metoda przeciwdziałania blokadom przyjmuje następujące dwie reguły postępowania, których należy przestrzegać, aby nie doprowadzić do powstania blokady w systemie wytwarzania:

- Reguła I dotyczy warunków wprowadzania przedmiotów do systemu wytwarzania i mówi, że wprowadzanie przedmiotu wp_i do systemu (na obiekt wejściowy dla pierwszej czynności procesu) zrealizować można jedynie wtedy, gdy zostanie wykonana rezerwacja procesowa jednego miejsca w każdej strefie złożonej z obiektów bezblokadowych leżących na marszrucie wykonania tego przedmiotu. W przypadku gdy pierwsza strefa złożona jest z obiektów zagrożonych blokadą, niezbędne jest ponadto spełnienie warunku, aby w momencie wprowadzania przedmiotu wszystkie obiekty tej strefy miały wolne co najmniej jedno miejsce. W przypadku gdy pierwsza strefa złożona jest z obiektów bezblokadowych i jest to jedyna strefa obejmująca całą marszrutę, a ponadto każdy obiekt tej strefy ma zarówno obiekt poprzedzający, jak i obiekt następujący, niezbędne jest

¹ W przypadku gdy obiekt bezblokadowy posiada dwa obiekty poprzedzające, rezerwacja procesowa realizowana dla przedmiotu wp_i przepływającego na obiekt OW_k z określonego obiektu poprzedzającego nie dotyczy miejsc dedykowanych przeznaczonych dla „przeciwnego kierunku przepływu przedmiotów”, chyba że należą one do tej samej strefy obiektów bezblokadowych.

sprawdzenie, czy wprowadzenie przedmiotu wp_i do systemu nie spowoduje powstania cyklu oczekiwań zasobowych procesów będącego przyczyną blokady. Warunkiem wystarczającym, aby taki cykl nie powstał, jest niedopuszczenie do sytuacji, w której liczba przedmiotów w rozważanej strefie (po wprowadzeniu przedmiotu wp_i) jest równa liczbie miejsc przeznaczonych dla tych przedmiotów.

- Reguła II dotyczy uruchamiania czynności a_j w systemie wytwarzania i mówi, że w przypadku, gdy obiekt wyjściowy dla czynności a_j należy do strefy złożonej z obiektów zagrożonych blokadą, aby rozpocząć realizację czynności a_j , wszystkie obiekty tej strefy począwszy od tego obiektu, a skończywszy na ostatnim obiekcie w tej strefie, muszą mieć wolne co najmniej jedno miejsce. Natomiast w sytuacji gdy obiekt wyjściowy dla tej czynności a_j jest obiektem bezblokadowym, to biorąc pod uwagę problematykę blokad, nie jest konieczne spełnienie żadnych dodatkowych warunków realizowalności czynności, bowiem wykonanie czynności nie spowoduje powstania blokady.

Wprowadzenie przedmiotu do systemu wymaga wykonania rezerwacji procesowej jednego miejsca w każdej strefie złożonej z obiektów bezblokadowych leżących na marszrucie wykonania tego przedmiotu. Rezerwacje te dokonywane są w celu zapewnienia „bezpiecznego zejścia” dla przedmiotu wprowadzanego do systemu na obiekt zagrożony blokadą lub też przechodzącego ze strefy złożonej z obiektów bezblokadowych do strefy złożonej z obiektów zagrożonych blokadą. Niezbędność jednoczesnej realizacji takiego zakresu rezerwacji procesowych wynika z konieczności zabezpieczenia się przed zablokowaniem działania systemu wytwarzania nie wynikającym jednak z powstania cyklu wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów, a będącym konsekwencją braku możliwości dokonania rezerwacji procesowych niezbędnych miejsc w późniejszym czasie.

Sformułujmy obecnie warunek wystarczający, aby wykonanie czynności a_j nie prowadziło do powstania blokady w systemie wytwarzania.

Lemat 2

Warunkiem wystarczającym, aby wykonanie czynności a_j nie prowadziło do powstania blokady w systemie wytwarzania, jest przestrzeganie reguły II.

Aby wykazać poprawność tego lematu, należy udowodnić, że do blokady nie prowadzi zarówno wykonanie czynności, dla której obiektem wyjściowym jest obiekt zagrożony blokadą, jak i wykonanie czynności, dla której obiektem wyjściowym jest obiekt bezblokadowy.

Dowód

1) Przypadek, gdy obiektem wyjściowym czynności a_j jest obiekt zagrożony blokadą.

Założmy, że efektem zastosowania zaproponowanej metody przeciwdziałania blokadom było powstanie blokady w wyniku wykonania czynności a_j , dla której obiektem wyjściowym był obiekt zagrożony blokadą. Oznacza to, że rezultatem wykonania tej czynności jest powstanie wzajemnego cyklu oczekiwań zasobowych procesów. Bezpośrednią przyczyną „zamknięcia” tego cyklu było przemieszczenie przedmiotu z obiektu wejściowego na obiekt wyjściowy czynności a_j . Zgodnie z treścią reguły II, w przypadku gdy obiekt wyjściowy dla czynności a_j należy do strefy złożonej z obiektów zagrożonych blokadą, aby rozpocząć realizację czynności a_j , wszystkie obiekty tej strefy, począwszy od tego obiektu, a skończywszy na ostatnim obiekcie w tej strefie, muszą mieć wolne co najmniej jedno miejsce. Oznacza to, że gdy stosuje się regułę II, nie ma możliwości „zamknięcia” cyklu oczekiwań zasobowych procesów, a zatem przyjęte na początku dowodu założenie nie jest prawdziwe, co oznacza, że blokada nie wystąpi.

2) Przypadek, gdy obiektem wyjściowym czynności a_j jest obiekt bezblokadowy.

Wykonanie czynności a_j , dla której obiektem wyjściowym jest obiekt bezblokadowy, nie prowadzi do blokady, bo konsekwencją jej wykonania nie może być powstanie cyklu wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów w strefie bezblokadowej. Wynika to z przyjętej specyfiki obiektów bezblokadowych, z których można tworzyć strefy bezblokadowe. Jedyną możliwością wystąpienia fizycznego cyklu tworzonego przez obiekty wykonawcze w strefie bezblokadowej dotyczy przypadku, gdy marszruta wykonania przedmiotu wp_i składa się wyłącznie z jednej strefy. Wykonanie czynności a_j nie spowoduje powstania blokady w tym przypadku, ponieważ - nawet gdy taki fizyczny cykl wystąpi - to wszystkie obiekty rozważanej strefy będą do niego „należące”, a wykonanie czynności wiąże się zawsze zarówno z zajęciem miejsca na obiekcie wyjściowym, jak i zwolnieniem miejsca na obiekcie wejściowym. Nie powstanie więc cykl wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów będących konsekwencją wykonania czynności a_j , a więc do blokady nie dojdzie.

Ze względu na to, że dla obydwu rozważanych przypadków do blokady nie dojdzie, to przestrzeganie reguły II jest warunkiem wystarczającym, aby wykonanie czynności a_j nie doprowadziło do blokady.

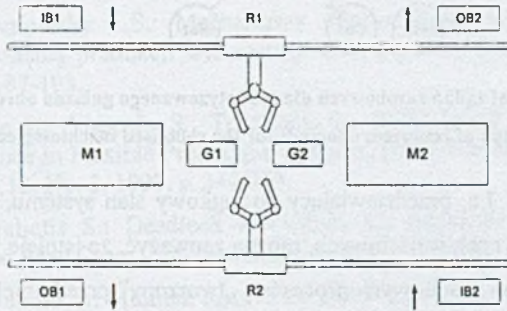
Wykorzystując treść lematu nr 2, sformułujemy zasadę bezblokadowego sterowania współbieżnymi procesami w dyskretnych systemach wytwarzania.

Twierdzenie

Jeżeli wprowadzanie przedmiotów do systemu wytwarzania MS realizowane jest według reguły I, a uruchamianie czynności wymaga przestrzegania reguły II, system wytwarzania będzie działał w sposób bezblokadowy.

Poprawność tego twierdzenia wynika bezpośrednio z prawdziwości lematu nr 2 dla wszystkich czynności realizowanych w systemie wytwarzania, a także z faktu, że sama realizacja rezerwacji procesowej nie powoduje powstania wymuszonej blokady (ang. restricted deadlock) [1]. Uniknięcie wymuszonej blokady jest konsekwencją przyjętego sposobu dokonywania rezerwacji procesowych (wszystko albo nic) oraz specyfiki obiektów bezblokadowych wykluczających powstanie blokady wynikającej z kolejności wprowadzania przedmiotów do strefy bezblokadowej.

W celu pokazania skuteczności przyjętej koncepcji przeciwdziałania blokadom w systemach wytwarzania przeanalizujemy przykład zrobotyzowanego gniazda obróbkowego (rys. 2.) zaczerpnięty z pracy [2]. W skład gniazda wchodzi centra obróbkowe M1 i M2, roboty przemysłowe R1 i R2, magazyny wejściowe IB1 i IB2 oraz magazyny wyjściowe

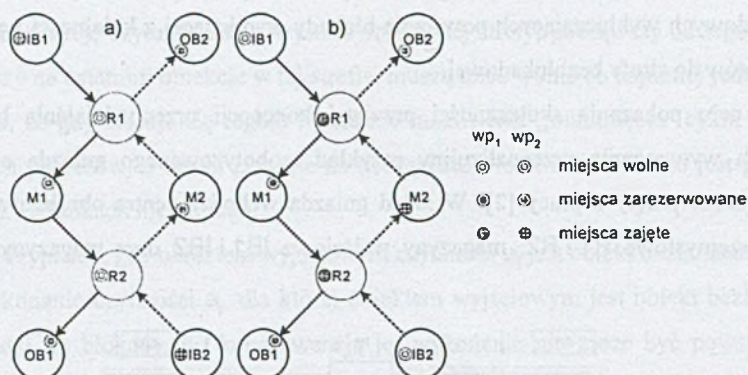


Rys. 2. Zrobotyzowane gniazdo obróbkowe [2]

Fig. 2. Robotised machining cell [2]

OB1 i OB2. Robot R1(R2) wyposażony w chwytak G1(G2), pobiera przedmiot z magazynu wejściowego IB1(IB2) i odkłada na maszynę M1(M2). Przedmiot obrabiany na maszynie M1(M2) odkładany jest następnie przez robot R2(R1) wyposażony w chwytak G2(G1) do magazynu wyjściowego OB1(OB2). W systemie tym wytwarzane są dwa typy przedmiotów wp_1 i wp_2 . Schemat powiązań międzyobiektowych oraz kierunki przemieszczania się przedmiotów przez ten system przedstawiono na rys. 3. Kierunek przemieszczania się przedmiotów typu wp_1 oznaczono za pomocą strzałek ciągłych, podczas gdy kierunek

przemieszczania się przedmiotów typu wp_2 oznaczono za pomocą strzałek przerywanych. Obiekty bezblokadowe zaznaczono symbolicznie linią grubą, natomiast obiekty zagrożone blokadą - linią cieką. Dla uproszczenia przyjęto, że magazyny wejściowe i magazyny wyjściowe mają pojemność przedmiotową równą jeden. Założono, że miejsce w magazynie wyjściowym jest opróżnianie natychmiast, gdy znajdzie się na nim przedmiot, co oznacza również, że miejsce to może być zarezerwowane procesowo dla więcej niż jednego przedmiotu. Na wolne miejsce w magazynie wejściowym wprowadzany jest przedmiot w momencie, gdy pozwoli na to reguła I zaproponowanej metody przeciwdziałania blokadom.



Rys. 3. Graf żądań zasobowych dla zrobotyzowanego gniazda obróbkowego

Fig. 3. Graph of resources demands for the robotised machining cell

Patrząc na rys. 3.a, przedstawiający początkowy stan systemu, w którym przedmioty znajdują się w magazynach wejściowych, można zauważyć, że istnieje jeden potencjalny cykl wzajemnych oczekiwań zasobowych procesów, „tworzony” przez obiekty R1, M1, R2 i M2. Umieszczenie przedmiotów na wszystkich tych obiektach spowodowałoby powstanie blokady. Zaproponowana metoda przeciwdziałania blokadom uniemożliwia powstanie takiej sytuacji zapewniając jednocześnie efektywne wykorzystanie zasobów. Na rys. 3.b przedstawiono jeden z dwóch stanów systemu pokazujących możliwość współbieżnej realizacji trzech procesów (przedmiotów). Jest to maksymalna liczba procesów, jaka może być realizowana bezblokadowo w tym systemie. Na robotach R1 i R2 znajdują się przedmioty typu wp_1 , podczas gdy na maszynie M2 znajduje się przedmiot typu wp_2 .

3. Podsumowanie

Zasadniczą cechą pozytywną zaproponowanej metody jest prostota jej implementacji w rozproszonym wieloagentowym systemie sterowania wytwarzaniem. Każdy agent wykonawczy określa samodzielnie, czy jest obiektem bezblokadowym, czy też obiektem zagrożonym blokadą. Wykorzystując powiązania komunikacyjne z innymi agentami wykonawczymi w systemie wytwarzania, może dokonywać rezerwacji procesowych, sprawdzać dostępność wolnych miejsc itp. Aby jednak proces podejmowania decyzji przez agenty, a co za tym idzie, proces przeciwdziałania blokadom mógł być realizowany w sposób efektywny, niezbędne jest zapewnienie wzajemnego wyłączania procesów podejmowania decyzji, np. przez zastosowanie algorytmu pierścienia z żetonem.

LITERATURA

1. Banaszak Z., Krogh B.: Deadlock Avoidance in Flexible Manufacturing Systems with Concurrently Competing Process Flows. IEEE Trans. On Robotics and Automation, Vol. 6, No. 6, 1990, s. 724-734.
2. Banaszak Z., Yampolsky L.S.: Mechanizmy synchronizacji przepływu produkcji w systemach jednoczesnej produkcji wieloasortymentowej. Inżynieria Maszyn, R.3, z.2-3, Wrocław 1998, s. 87-103.
3. Fanti M., Maione B., Mascolo S., Turchiano B.: Event-Based Feedback Control for Deadlock Avoidance in Flexible Production Systems. IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 13, No. 3, 1997, s. 347-363.
4. Lawley M., Reveliotis S.: Deadlock Avoidance for Sequential Resource Allocation Systems: Hard and Easy Cases. The International Journal of FMS, 2000.
5. Roszkowska E., Jentink J.: Minimal Restrictive Deadlock Avoidance in FMS. Proc. of the Second European Control Conference ECC'93, Groningen 1993, s. 530-534.
6. Wójcik R., Banaszak Z., Roszkowska E.: Automation of Self-Recovery Resource Allocation Procedures Synthesis. Proc. of IFAC Workshop on CIM in Process and Manufacturing Industries – Espoo 1993, s. 127-132.
7. Zając J.: Wybrane problemy współdziałania w wieloagentowym systemie sterowania wytwarzaniem. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., ser. Automatyka z. 130, Gliwice 2000, s. 201-210.

Recenzent: Dr hab. inż. Bożena Skołod

Abstract

In the paper, a new deadlock handling method for distributed multiagent manufacturing system is presented. The proposed approach uses features of deadlock prevention techniques and deadlock avoidance techniques. It divides manufacturing resources into deadlock-free objects and deadlock-risk objects. The set of deadlock-free objects is shown. Each process flow is divided into zones consisting of deadlock-free objects and deadlock-risk objects. The paper introduces two restriction policies. The first one specifies conditions that are necessary to be fulfilled before a workpiece can enter the system. The main requirement of the policy is to be performed so-called process reservation of one free place on all deadlock-free zones which the workpiece accesses, as it flows through the system. The second restriction policy gives sufficient conditions to start an activity. To start an activity in deadlock-risk zone all remaining objects in this zone must have at least one free place. The proposed policies are suitable for real time implementation due to small on-line computational costs.