

Damian KRENCZYK, Krzysztof KALINOWSKI, Bożena SKOŁUD  
Politechnika Śląska

## WYZNACZANIE HARMONOGRAMÓW PRZEBIEGÓW PRZEJŚCIOWYCH DLA WIELOASORTYMENTOWEJ PRODUKCJI RYTMICZNEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problem szacowania czasu fazy rozruchu oraz wygaszania w systemie, w którym dostęp do zasobów regulują lokalne reguły rozstrzygania konfliktów zasobowych. Przedstawiono metodę i procedurę tworzenia harmonogramu dla faz przejściowych. Przedstawione podejście zilustrowano przykładami z wykorzystaniem systemów SWZ i KbRS.

## TRANSITION SCHEDULING FOR MULTIASSORTMENT REPETITIVE PRODUCTION

**Summary.** The problem of time estimation of the starting and cease phases in the system which is controlled by the local dispatching rules is dealt in the paper. The method and the procedure of the scheduling is presented. Proposed approach is illustrated by the example where SWZ and KbRS systems are applied.

### 1. Wprowadzenie

W pracach [1, 5, 6] rozważano problemy planowania i sterowania wieloasortymentową produkcją rytmiczną dla przebiegów ustalonych oraz przejściowych. Przyjęto, że sterowanie przepływem produkcji odbywać się będzie na podstawie wykonywanych cyklicznie lokalnych reguł rozstrzygania konfliktów zasobowych (LLRKZ). LRRKZ określa kolejność dostępu procesów do zasobu i zapewnia przynajmniej jednokrotną realizację operacji należącej do każdego z procesów dzielących zasób. Dostęp do zasobów jest regulowany zgodnie z trybem wzajemnego wykluczania. Ponieważ rozważane przebiegi ustalone generowane są przez zbiory LRRKZ, przydzielonych do zasobów dzielonych systemu, zatem naturalną metodą było zaproponowanie wyznaczania zbioru reguł rozruchu, które umożliwią przejście z wybranego stanu początkowego do jednego ze stanów sekwencji przebiegu ustalonego.

Doprowadzenie do oczekiwanego przebiegu ustalonego, zapewniającego terminowe zakończenie produkcji, wymaga przyjęcia odpowiedniej kolejności procesów w regule lub wykonania pewnej sekwencji procesów (innej niż w przepływie ustalonym), którą nazwano regułą rozruchu (RR) [4]. Wykonanie RR ma na celu wstępne zapełnienie magazynów międzyzasobowych, które zapewni

żywołność globalną oraz synchronizację systemu. Przez analogię do rozruchu wyznaczone zostają reguły wygaszania (RW) umożliwiające usunięcie z systemu elementów wprowadzonych w fazie rozruchu.

Połączenie LRRKZ z RR i RW w jedną metaregułę tworzy kompletny zbiór procedur rozproszonego sterowania systemem procesów współbieżnych:

$$R_i = \{(RR), (LRRKZ), (RW)\}.$$

Konstrukcja metareguły rozpoczyna się od wyznaczenia LRRKZ, która determinuje pozostałe jej składowe, tj. RR i RW. Metodę wyznaczania metareguły zaimplementowano w komputerowym systemie weryfikacji zleceń SWZ v3 [1, 5].

Rozważany jest następujący problem. Dany jest system współbieżnej wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. Przydział procesów do zasobów jest regulowany przez LRRKZ, uwzględniającą synchronizującą rolę wąskich gardeł. Poszukiwane są odpowiedzi na następujące pytania:

Jak utworzyć harmonogram dla faz przejściowych na podstawie znanych metareguł?

Jaki jest czas faz rozruchu i wygaszania?

## 2. Terminowość realizacji zleceń

Termin realizacji zlecenia w systemie produkcji rytmicznej z uwzględnieniem czasu rozruchu i wygaszania dla procesu  $P_j$  wyznacza się z [5]:

$$tk_j = tr_j + \frac{I_j - F_j^R}{F_j} \cdot T_c + T_R + T_W, \quad (1)$$

gdzie:

- $t_{kj}$  – rzeczywisty możliwy do osiągnięcia termin zakończenia procesu  $P_j$ ,
- $tr_j$  – termin uruchomienia procesu  $P_j$ ,
- $I_j$  – wielkość zlecenia,
- $F_j$  – wielkość partii  $j$ -tego zlecenia (liczba wykonywana podczas jednego cyklu),
- $F_j^R$  – liczba sztuk  $j$ -tego zlecenia wykonana podczas fazy rozruchu i wygaszania,
- $T_R$  – czas wykonania reguły rozruchu,
- $T_W$  – czas wykonania reguły wygaszania,
- $T_c$  – czas wykonania cyklu w przebiegu ustalonym.

We wcześniejszych pracach autorów założono, iż maksymalny czas realizacji reguły rozruchu (wygaszania)  $T_R$  ( $T_W$ ) nie będzie większy niż suma czasów operacji procesów występujących w regułach rozruchu (wygaszania) przydzielonych do zasobów systemu dla wszystkich zasobów:

$$T_R = \sum_{i=1}^m \sum_{w=1}^{o_i} (t_{P_{iw},i} \cdot K_{iw}^R + tpz_{P_{iw},i}), \quad (2)$$

$$T_W = \sum_{i=1}^m \sum_{w=1}^{o_i} (t_{P_{iw},i} \cdot K_{iw}^W + tpz_{P_{iw},i}), \quad (3)$$

gdzie:

- $t_{P_{iw},i}$  – czas jednostkowy operacji procesu  $P_{P_{iw}}$  na  $i$ -tym zasobie,
- $tpz_{P_{iw},i}$  – czas przygotowawczo-zakończeniowy realizacji procesu  $P_{P_{iw}}$ ,
- $p_{iw}$  – numery procesów, przydzielonych do  $i$ -tego zasobu, zgodnie z LRRKZ,

- $K_{iw}^R$  – krotność występowania każdego z procesów w regule rozruchu i-tego zasobu,  
 $K_{iw}^W$  – krotność występowania każdego z procesów w regule wygaszania,  
 $m$  – liczba zasobów,  
 $o_i$  – liczba operacji w LRRKZ przydzielonej do i-tego zasobu.

Jest to najbardziej niekorzystny scenariusz. W rzeczywistości dla wielu przypadków  $T_R$  i  $T_W$  będą krótsze od wyznaczonego w powyższy sposób, gdyż nie uwzględniono następstwa operacji dla procesów występujących w RR i RW.

Dla rozpatrywanego przypadku proponuje się umieszczenie w algorytmie planowania procedur wyznaczających harmonogram dla faz przejściowych, a na jego podstawie wyznaczone zostaną  $T_R$  i  $T_W$ .

### 3. Metoda konstruowania harmonogramu dla faz przejściowych

Harmonogram dla faz rozruchu i wygaszania konstruowany jest za pomocą algorytmu rekurencyjnego. Procedurę wyznaczania harmonogramu przedstawiono poniżej:

Dla wszystkich maszyn

Dla pierwszej operacji w regule na danej maszynie

Wykonaj funkcję wyznaczenia czasu rozpoczęcia danej operacji „KorygujCzasRozpOperacji”.

Funkcja „KorygujCzasRozpOperacji”

Jeżeli czas rozpoczęcia danej operacji < czas zakończenia poprzedniej operacji w regule, to podstaw: czas rozpoczęcia danej operacji = czas zakończenia poprzedniej operacji w regule.

Jeżeli istnieje kolejna operacja w marszrucie procesu dla danej operacji, to dla tej (kolejnej w marszrucie) operacji

Jeżeli czas rozpoczęcia (kolejnej w marszrucie) operacji < czas zakończenia danej operacji to:

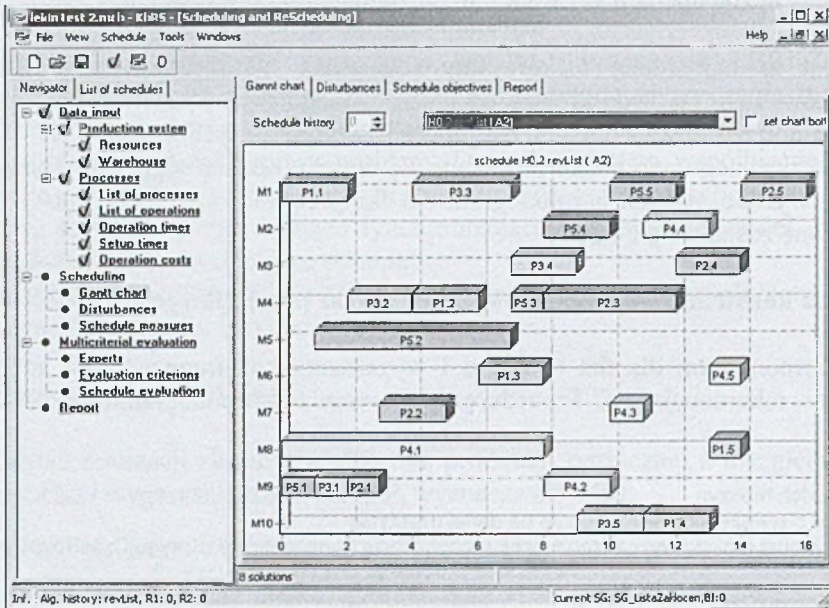
1. Podstaw: czas rozpoczęcia (kolejnej w marszrucie) operacji = czas zakończenia danej operacji.

2. Wykonaj funkcję „KorygujCzasRozpOperacji”.

Jeżeli istnieje kolejna operacja w regule na danej maszynie to dla tej (kolejnej w regule) operacji wykonaj funkcję „KorygujCzasRozpOperacji”.

Procedura ta została zaimplementowana w systemie KbRS [2, 3] (Knowledge based Rescheduling System (rys. 1)), który wspomaga harmonogramowanie i reharmonogramowanie procesów w dyskretnych systemach produkcyjnych. Harmonogramy tworzone są wg algorytmów szeregujących procesy wg ustalonej reguły priorytetu (LPT, SPT, EDD itp.) oraz zadanej kolejności wykonywania operacji na zasobach (reguły LRRKZ). Dla harmonogramów obliczane są maksymalne, średnie i sumaryczne wartości podstawowych parametrów, tj.: długość uszeregowania, czas przepływu, nieterminowość, opóźnienia. Ponadto, na podstawie wprowadzanych wartości parametrów zakłócenia, KbRS dokonuje modyfikacji istniejącego harmonogramu. Zastosowane algorytmy umożliwiają analizę opłacalności zmiany kolejności operacji na zasobach, przestojów stanowisk czy modyfikacji marszrut procesów. Rejestrowane są również dodatkowe wskaźniki oceny związane z reharmonogramowaniem, tj. różnica w czasach rozpoczęcia operacji, liczba zmian

(czasów rozpoczęcia operacji) w harmonogramie, liczba operacji krytycznych, średni czas przestoju stanowiska między operacjami. Ocena rozwiązań (wybór harmonogramu ze zbioru) z zastosowaniem większej liczby kryteriów oceny wspomaga moduł punktowej oceny wielokryterialnej.



Rys. 1. Interfejs użytkownika programu KbRS

#### 4. Przykład

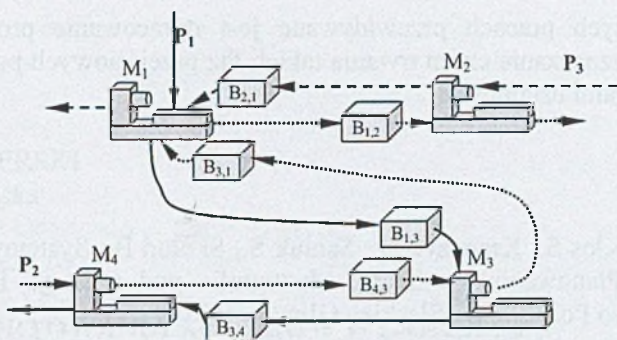
Dany jest system produkcyjny, składający się z czterech zasobów  $M_1 - M_4$ . Na realizację w systemie oczekują procesy  $P_1, P_2, P_3$ . Marszruty przedstawiono na rysunku 2, czasy jednostkowe zapisano w macierzach procesów.

$$P_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 4 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 4 & 3 & 1 & 2 \\ 5 & 7 & 5 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad P_3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 4 & 3 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Wartości pierwszego wiersza macierzy odpowiadają numerom zasobów, przez które przebiega marszruta procesu. W drugim wierszu zawarte są czasy jednostkowe na tych zasobach. Trzeci wiersz zawiera czasy przygotowawczo-zakończeniowe.

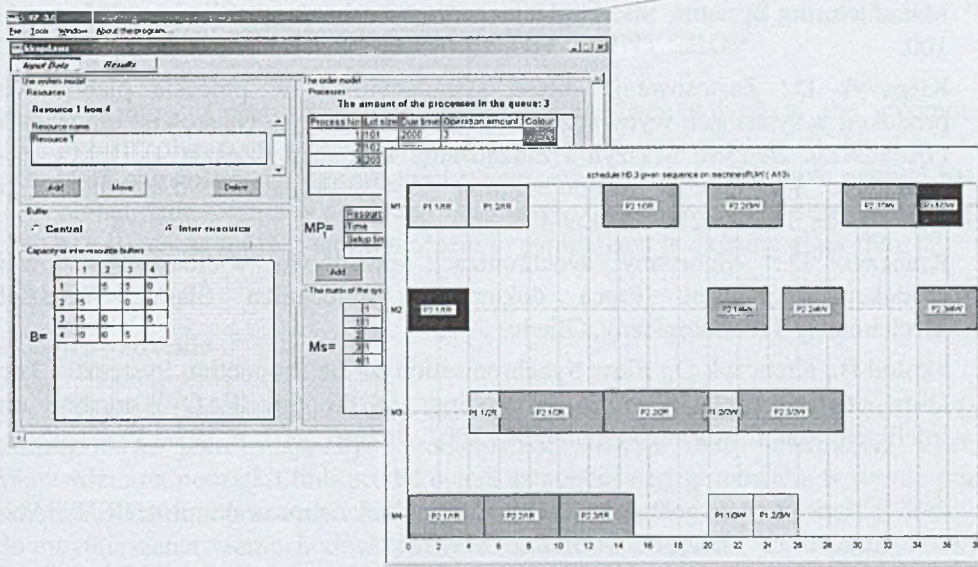
Dane o zasobach produkcyjnych oraz procesach oczekujących na realizację w systemie wprowadzono do systemu SWZ i wygenerowano metareguly sterujące pracą systemu w fazach rozruchu i wygaszania produkcji oraz w przebiegu ustalonym:  $R_1 = \{(1,1,2);(1,2,3);(2,2,3)\}$ ,  $R_2 = \{(3);(2,3);(2,2,2)\}$ ,  $R_3 = \{(1,2,2);(1,2);(1,2)\}$ ,  $R_4 = \{(2,2,2);(1,2);(1,1)\}$ .

Następnie wyeksportowano dane o systemie produkcyjnym oraz regułach do programu KbRS oraz wygenerowano harmonogramy pracy systemu dla fazy rozruchu i wygaszania.



Rys. 2. System współbieżnych procesów produkcyjnych

Czas trwania faz rozruchu i wygaszania wyliczony w programie SWZ (najbardziej niekorzystny wariant) na podstawie zależności (2) i (3) wynosi odpowiednio:  $T_R = 48$ ,  $T_W = 40$ . Dla wyznaczonego harmonogramu w programie KbRS czasy te wynoszą odpowiednio  $T_R = 20$ ,  $T_W = 18$  (rys. 3).



Rys. 3. Wyniki pracy systemów SWZ i KbRS

Tak jak zakładano rzeczywisty czas faz przejściowych jest dużo mniejszy niż dla przypadku najbardziej niekorzystnego, jednakże ze względu na specyfikę realizacji faz przejściowych nie jest możliwe wyznaczenie dokładnego czasu faz przejściowych bez wyznaczenia harmonogramu dla tych faz.

## 5. Podsumowanie

Integracja systemów SWZ oraz KbRS umożliwiła szybkie wyznaczenie dokładnego czasu trwania faz rozruchu i wygaszania w wielosortymentowej produkcji rytmicznej. Ponadto umożliwia wizualizację tych faz w postaci wykresów

Gantta. W dalszych pracach przewidywane jest opracowanie procedury zmiany asortymentu o wyznaczanie czasu trwania takich faz przejściowych pomiędzy dwoma znanymi przebiegami ustalonymi

## LITERATURA

1. Gattner D., Kłos S., Krenczyk D., Saniuk S., Skołod B.: Systemy Wspomagania Decyzji w Planowaniu Produkcji. Monografia pod redakcją Bożeny Skołod, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
2. Kalinowski K., Grabowik C.: Wskaźniki oceny harmonogramów w procesie reharmonogramowania produkcji. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2006, t. I, s. 585-590.
3. Kalinowski K.: The repair algorithm in the production rescheduling. Computer Integrated Manufacturing, Intelligent Manufacturing Systems. Scientific Fascicles of the Department of Engineering Processes Automation and Integrated Manufacturing Systems, Silesian University of Technology, Gliwice 2005, p. 97-100.
4. Krenczyk D.: Zastosowanie metod symulacyjnych w procesie planowania produkcji w systemach wytwórczo-montażowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją, Zeszyt 1, II Międzynarodowa Konferencja Manufacturing '04, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004, s. 409-418.
5. Krenczyk D.: Algorytmy synchronizacji przepływu wieloasortymentowej produkcji rytmicznej. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Gliwice 2002.
6. Skołod B., Krenczyk D.: Flow Synchronisation of the Production Systems – The Distributed Control Approach. Proceedings of the 6th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2001, Poznań 2001, p. 127-132.

Recenzent: Dr hab. inż. M. Zaborowski, prof. IISiT PAN

## Abstract

In the paper the problem of the starting and cease phase time estimation is presented. The system is controlled according to local dispatching rule that are allocated to resources. The method and the algorithm of the transient phases are given and results are compared with the estimation that are proposed in the previous authors publications and that are based on sufficient conditions. Given approach is illustrated by the example where domestic software SWZ and KbRS are used. The problem of self synchronisation in the case of disturbance appearance is proposed for further work.