

Robert DYLEWSKI¹, Andrzej JARDZIOCH²

¹Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Matematyki, Informatyki i Ekonometrii, ul. Licealna 9, 65-417, Zielona Góra

²Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Al. Piastów 19, 70-310, Szczecin

Optymalizacja kolejności zleceń produkcyjnych ze względu na minimalną sumę opóźnień

Dr Robert DYLEWSKI

Doktorat uzyskany w roku 2003, z zakresu metod numerycznych i optymalizacji. Od roku 2003 adiunkt na Wydziale Matematyki, Informatyki i Ekonometrii Uniwersytetu Zielonogórskiego. Prowadzone zajęcia: programowanie matematyczne, badania operacyjne, podstawy optymalizacji, algorytmy i struktury danych, metody numeryczne. Tematyka badań naukowych: optymalizacja wypukła nieróżniczkowalna, metody rzutowe i zastosowania, własności i zastosowania sieci Petriego.

e-mail: r.dylewski@wmie.uz.zgora.pl



Dr hab. inż. Andrzej JARDZIOCH

Zastępca dyrektora Instytutu Technologii Mechanicznej Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. Kierownik Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Wytwarzania i Inżynierii Jakości. Prowadzi badania naukowe związane z zastosowaniem nowoczesnych metod sterowania zautomatyzowanymi systemami produkcyjnymi. Jest autorem wielu publikacji naukowych dotyczących zastosowania metod sztucznej inteligencji w elastycznych systemach wytwarzania.

e-mail: andrzej.jardzioch@zut.edu.pl



Streszczenie

W artykule rozważany jest problem ustalania kolejności wprowadzania zleceń do produkcji w dynamicznym środowisku produkcyjnym. Przyjęto założenie, że możliwe jest dodawanie kolejnych zleceń produkcyjnych w trakcie pracy systemu wytwórczego. Zaproponowano nową metodę wyznaczania takiej kolejności zleceń, która jest optymalna ze względu na minimalną sumę opóźnień. Metoda ta daje lepsze rozwiązania niż metoda minimalnego terminu realizacji, czasu obróbki, czy zapasu czasu.

Słowa kluczowe: dynamiczne środowisko produkcyjne, minimalizacja sumy opóźnień, sterowanie systemami produkcyjnymi.

Optimization of the sequence of production orders on account of minimum delay

Abstract

The paper investigates the sequence of inputting production orders in a dynamic manufacturing environment. It has been assumed that it is possible to add successive production orders while the manufacturing system is in operation. A new method allowing to determine the sequence of production orders, which is optimal on account of the sum of minimum delay, has been proposed. The method yields better solutions than the method of minimum time of completion, machining, or time reserve.

Keywords: dynamic manufacturing environment, minimum delay, manufacturing system control.

1. Wprowadzenie

Zorientowanie działalności przedsiębiorstw na bezwzględne zaspokajanie potrzeb konsumenta oraz powstanie wieloetapowych łańcuchów dostaw wymusiło zmianę priorytetów planowania produkcji oraz konieczność szybkiej reakcji na dynamicznie zmieniające się zewnętrzne warunki działania. Doskonałym przykładem systemów produkcyjnych działających w takich warunkach są nowoczesne elastyczne systemy wytwarzania, w których w pełni zautomatyzowany podsystem technologiczny jest w pełni zintegrowany z podsystemem transportowym oraz komputerowym podsystemem sterowania. Pełna integracja tych podsystemów pozwala na efektywną realizację jednostkowej i małoseryjnej produkcji ściśle zorientowanej na potrzeby klientów [1, 2].

Jednym z podstawowych zadań podsystemu sterowania pracą elastycznego systemu wytwarzania decydującym o jego prawidłowej pracy jest ustalenie kolejności realizacji zleceń produkcyjnych. Zgodnie z paradygmatem działania elastycznych systemów wytwarzania zadanie to powinno być wykonywane w sposób automatyczny z wykorzystaniem efektywnych algorytmów kolejujących. Pierwszoplanowym zadaniem jest spełnienie oczekiwań odbiorców poprzez zagwarantowanie dotrzymania terminowości

realizacji zleceń produkcyjnych przy jednoczesnym zachowaniu możliwie niskich kosztów produkcji [3, 4].

W artykule rozważany jest problem ustalania kolejności realizacji zleceń produkcyjnych w sterowanym numerycznie elastycznym systemie produkcyjnym realizującym operacje wycinania elementów o dowolnych kształtach z arkuszy blach. Głównym kryterium ustalenia kolejności jest minimalna suma opóźnień realizowanych zleceń. Zakłada się, że możliwe jest dokładanie kolejnych zleceń w trakcie pracy systemu wytwórczego.

2. Wyznaczanie kolejności zleceń

Dla danej listy zleceń ($z_1, z_2, \dots, z_n$) dostępne są między innymi następujące informacje:

$t_o(i)$ – czas obróbki zlecenia z_i ,

$t_t(i)$ – termin dla zlecenia z_i .

Dla każdego zlecenia, na podstawie tych informacji, można sprawdzić jaki jest zapas czasu na realizację zlecenia $z_o(i) = t_t(i) - t_o(i)$.

Możliwe są dwie sytuacje: zlecenie jest odbierane od razu po wycięciu (rozwiązanie trudniejsze technicznie), zlecenie jest odbierane dopiero po zakończeniu cięcia arkusza blachy (rozwiązanie łatwiejsze technicznie). W dalszej części artykułu zakłada się pierwszą sytuację. Dodatkowo przyjmuje się, że czas na wymianę zużytych blach jest pomijalnie mały.

Najczęściej stosowane metody ustalania kolejności zleceń wykorzystują jeden z trzech parametrów zlecenia: t_o , t_t albo z_o .

Metoda MO: metoda ta polega na ustaleniu kolejności wg rosnącego czasu obróbki t_o ;

Metoda MT: w metodzie tej sortuje się zlecenia wg rosnącego terminu realizacji t_t ;

Metoda MZA: w metodzie tej porządkuje się zlecenia od zlecenia z najmniejszym zapasem czasu do zlecenia z największym zapasem czasu.

Niestety, żadna z tych trzech metod nie daje rozwiązania optymalnego ze względu na minimalną sumę opóźnień (patrz przykład 2.). Jedynie metoda MT gwarantuje, że dla wyznaczonej kolejności zleceń, maksymalne z uzyskanych opóźnień będzie najmniejsze ze wszystkich możliwych kolejności.

3. Optymalna kolejność ze względu na minimalną sumę opóźnień

Zakłada się, że maksymalna liczba zleceń oczekujących do realizacji może wynieść około 10. Wszystkich możliwych kolejności jest wtedy $10! = 3\,628\,800$. Przegląd zupełny możliwych kolejności nie ma więc większego sensu.

W punkcie tym przedstawiono metodę, która gwarantuje wyznaczenie optymalnej kolejności zleceń ze względu na minimalną sumę opóźnień.

Niech S_o oznacza sumę czasów obróbki danej listy zleceń:

$$S_o = \sum_{i=1}^n t_o(i) \quad (1)$$

Metoda MOpt:

Wyznaczanie rozwiązania ma postać drzewa.

Na początku, w pierwszym bloku (korzeń drzewa), dla każdego zlecenia określa się liczbę

$$p(i) = S_o - t_i(i), \quad (2)$$

która oznacza jakie byłoby opóźnienie, gdyby zlecenie z_i było umieszczone na końcu. Jeżeli $p(i) \leq 0$ dla każdego $i = 1, \dots, n$, to oznacza, że każda kolejność ze wszystkich możliwych daje sumę opóźnień równą 0 (i kończymy). W przypadku, gdy nie wszystkie $p(i)$ są mniejsze lub równe 0, wybiera się najpierw zlecenie, dla którego $p(i)$ jest minimalne i umieszcza na końcu w kolejce. Dla tego zlecenia wyznacza się czas potrzebny na obróbkę pozostałych zleceń

$$S'_o = S_o - t_o(i) \quad (3)$$

i opóźnienie jakie powstaje w wyniku umieszczenia tego zlecenia na końcu

$$op = \max\{0, p(i)\}. \quad (4)$$

Następnie (blok 2), wykonuje się to samo co zostało zrobione w korzeniu drzewa, ale z pominięciem zlecenia, które zostało wstawione na koniec kolejki. Wybrane teraz zlecenie wstawia się do kolejki jako drugie od końca, aktualizuje czas S'_o i sumę opóźnień op .

Dalej, powtarza się to co wykonano w bloku 2, aż otrzyma się blok n (liść w drzewie), z którego zlecenie jest ustawiane na początek kolejki. Otrzymano gałąź „bazową” w drzewie, dla której kolejność zleceń jest zgodna z kolejnością otrzymaną metodą MT. Jeśli suma opóźnień $op_w = 0$ dla tej gałęzi, to otrzymana kolejność jest optymalna ze względu na sumę opóźnień.

Jeśli w gałęzi bazowej $op_w > 0$, to od bloku 1. sprawdza się, czy wybranie następnego zlecenia (ze względu na minimalną wartość $p(i)$), spowoduje przekroczenie sumy opóźnień z rozwiązania bazowego. Jeśli tak, to nie rozwija się dalej tej gałęzi. Jeśli nie, to wstawia się w kolejnym bloku wybrane zlecenie na odpowiednie miejsce w kolejce, itd.

Jeśli otrzyma się kolejny liść w drzewie (z ustaloną kolejnością wszystkich zleceń), to suma opóźnień dla tej kolejności jest nie większa niż dla rozwiązania bazowego. Aktualizuje się więc op_w i kontynuuje sprawdzanie kolejnych gałęzi, dopóki jeszcze jakieś można rozwijać. Na koniec, rozwiązania optymalne są dla liści z minimalną wartością op_w .

Uwagi:

- jeśli w bloku 1. mamy $p(i) > 0$ dla każdego $i = 1, \dots, n$, to oznacza, że nie ma kolejności, przy której nie byłoby opóźnień;
- jeśli w bloku 1. mamy $p(j) \leq 0$ dla zlecenia z_j , to na pewno w co najmniej jednym rozwiązaniu optymalnym (nie koniecznie jedynym) zlecenie to będzie na końcu w kolejce;
- jeśli w danym bloku, dla kilku zleceń jest wartość minimalna $p(i)$, to rozwija się równolegle gałęzie dla każdego z tych zleceń.

4. Przykłady

W punkcie tym przeanalizowano dwa przykłady, porównując metody przedstawione w punkcie 2. i 3.

Przykład 1.

W przykładzie tym są trzy zlecenia, przy czym tylko $t_i(1) \geq S_o = 130$. Dane do przykładu przedstawiono w tab. 1.

Kolejność otrzymana metodą MT to z_2, z_3, z_1 . Suma opóźnień dla tej kolejności wynosi: $0 + 10 + 0 = 10$ min. Takie samo rozwiązanie (jedynie optymalne) otrzymuje się metodą MOpt.

Tab. 1. Dane do przykładu 1.

Tab. 1. Data to example 1.

Zlecenie	Czas obróbki t_o [min]	Termin t_i [min]	Zapas z [min]
z_1	10	150	140
z_2	20	30	10
z_3	100	110	10

Przykład 2.

W przykładzie tym są cztery zlecenia, przy czym termin dla każdego zlecenia jest większy od $S_o = 180$. Dane do przykładu przedstawiono w tab. 2. Przykład ten jest rozszerzeniem listy z przykładu 1. o zlecenie z_4 .

Tab. 2. Dane do przykładu 2.

Tab. 2. Data to example 2.

Zlecenie	Czas obróbki t_o [min]	Termin t_i [min]	Zapas z [min]
z_1	10	150	140
z_2	20	30	10
z_3	100	110	10
z_4	50	60	10

Kolejność otrzymana metodą MT to z_2, z_4, z_3, z_1 . Suma opóźnień dla tej kolejności wynosi: $0 + 10 + 60 + 30 = 100$ min. Rozwiązanie otrzymane metodą MOpt to z_2, z_4, z_1, z_3 . Suma opóźnień przy tej kolejności wynosi: $0 + 10 + 0 + 70 = 80$ min. W drzewie rozwiązań otrzymano 7 bloków, przy czym dwie gałęzie: bazową i z jedynym rozwiązaniem optymalnym.

Optymalna kolejność otrzymana metodą MOpt jest różna od kolejności otrzymanych metodami MT, MO czy MZa. Zwróćmy uwagę, że rozszerzając listę zleceń z przykładu 1. o kolejne zlecenie z_4 (przykład 2), nie wystarczy dołożyć nowe zlecenie w pewne miejsce w aktualnie optymalnej kolejności, żeby otrzymać optymalne rozwiązanie z tym dodatkowym zleceniem. Postępując w ten sposób otrzymuje się: z_4, z_2, z_3, z_1 i sumę opóźnień równą 130; z_2, z_4, z_3, z_1 i sumę opóźnień równą 100; z_2, z_3, z_4, z_1 i sumę opóźnień równą 150; z_2, z_3, z_1, z_4 i sumę opóźnień równą 130.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone w pracy badania wykazały iż wybór kolejności realizowanych zleceń w bardzo istotny sposób wpływa na efektywność pracy elastycznego systemu produkcyjnego. Zaproponowana w pracy metoda ustalania kolejności zleceń pozwala stwierdzić, czy bazowa kolejność, wyznaczana metodą minimalnego terminu jest optymalna ze względu na minimalną sumę opóźnień. W przypadku gdy tak nie jest, umożliwia wyznaczenie rozwiązania optymalnego (rozwiązań optymalnych, jeśli jest kilka). Metodę tę łatwo zmodyfikować, tak żeby wyznaczała nie tylko rozwiązania optymalne, ale też gorsze od optymalnego o dopuszczalną wartość. Ma to duże znaczenie w przypadku, gdy jest potrzeba uwzględnienia dodatkowego kryterium dotyczącego ilości odpadów produkcyjnych.

6. Literatura

- [1] Jardzioch A., Skobieć B.: Petri net implementation in queue algorithms analysis for flexible manufacturing systems. Foundations of Computing and Decision Sciences, vol. 36, No. 3-4, 2011, s. 207-217.
- [2] Westkamper E., Einfuhrung In die Organisation der Produktion. Springer, Berlin, 2005.
- [3] Günther H., Beek P. van (Eds.): Advanced planning and scheduling solutions in process industry. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003.
- [4] Kletti J. (Ed.): Manufacturing Execution System - MES. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007.