

Połączyć planowanie ze sterowaniem

Plan dynamiczny

Radosław Cechowicz

Przedstawiony szkic rozwiązania problemu dotyczy szeregowania zadań w przepływowym systemie wytwórczym bez przestojów (no-wait flow shop), tzn. w takim, gdzie nie ma magazynów pośrednich pomiędzy maszynami, a wyroby mają podobne ścieżki technologiczne. Opisy technologii i zdolności technologicznych maszyn są rozdzielone, co pozwala na uzyskanie elastyczności systemu (problem poruszany w artykule [2]). Zaproponowano dwuetapowy algorytm szeregowania pozwalający na bieżącą (dynamiczną) korektę planu przy wystąpieniu zakłóceń.

Opis zdolności maszyn

Dla każdej maszyny utworzono kartę zdolności technologicznej w postaci listy operacji, które można na niej wykonać. Na karcie znajdują się średnie czasy wykonania operacji oraz lista czasów przygotowawczych. Przykładowa karta maszyny przedstawiona jest w tab. 1. Podobne karty są tworzone dla urządzeń transportowych [3]. Zakładamy, że w danej chwili na maszynie może znajdować się co najwyżej jedno zlecenie i może być wykonywana tylko jedna operacja, która po rozpoczęciu nie może być przerwana.

Zlecenia

Termin „zlecenie” będzie używany w znaczeniu zamówienia wewnętrznego na konkretny wyrób, a nie zapotrzebowania napływającego do działu handlowego. Ograniczenie przedmiotu zlecenia do jednego wyrobu pozwala przypisać do niego konkretną technologię. Warto zauważyć, że nie oznacza to jeszcze wyboru konkretnych maszyn, na których przedmiot zlecenia będzie wykonywany. Wybór maszyn jest częścią operacji planowania.

Tabela 1. Karta zdolności technologicznej maszyny F4 (przykład)

Nazwa	Frezarka 5-osiowa	Oznaczenie: F-4			
Miejsce	Hala Główna				
Stan maszyny	Sprawna	Narzędzia	Dostępność	Czas operacji	Uwagi
Lista operacji	1. frezowanie_W1	Fr1, D1	TAK	15	
	2. frezowanie_W2	Fr1, Fr2, D1	TAK	26	
	3. frezowanie_W3	Fr3	NIE	36	Uszkodzona kasetka z progr.
	4. frezowanie_W4	Fr1, D2, D3	TAK	8	
Czas przygotowania	Przezbroyenie typowy	3			
	Przezbroyanie. z oper 2 na 3	5			
	Przezbroyanie. z oper 3 na inną	10			

Zapis technologii

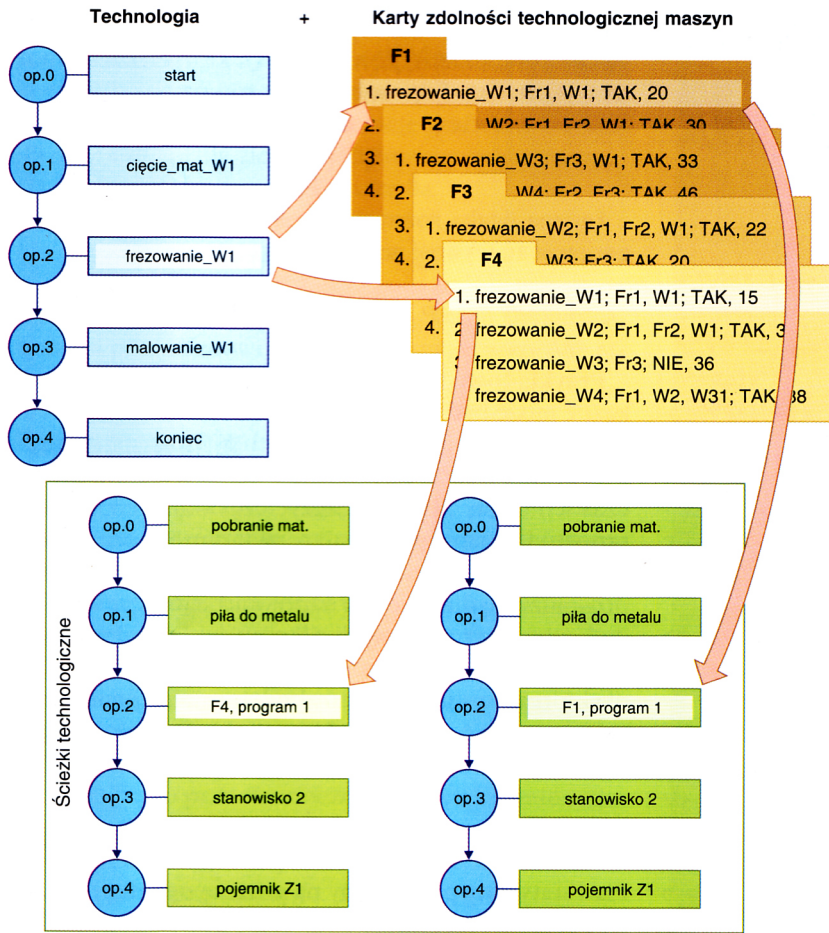
Jak pokazano na rys. 1, technologia jest zapisana w postaci sekwencji następujących po sobie operacji: „operacja 1”, „operacja 2” itd. Każda operacja ma nazwę i może być dodatkowo opisana zmiennymi określającymi warunki jej wykonania (np.: sposób mocowania, średnica otworów itp.). W opisie operacji nie ma wzmianki o tym, na której maszynie ma ona być wykonana, gdyż ta informacja została już zawarta w kartach zdolności maszyn.

Strategia planowania

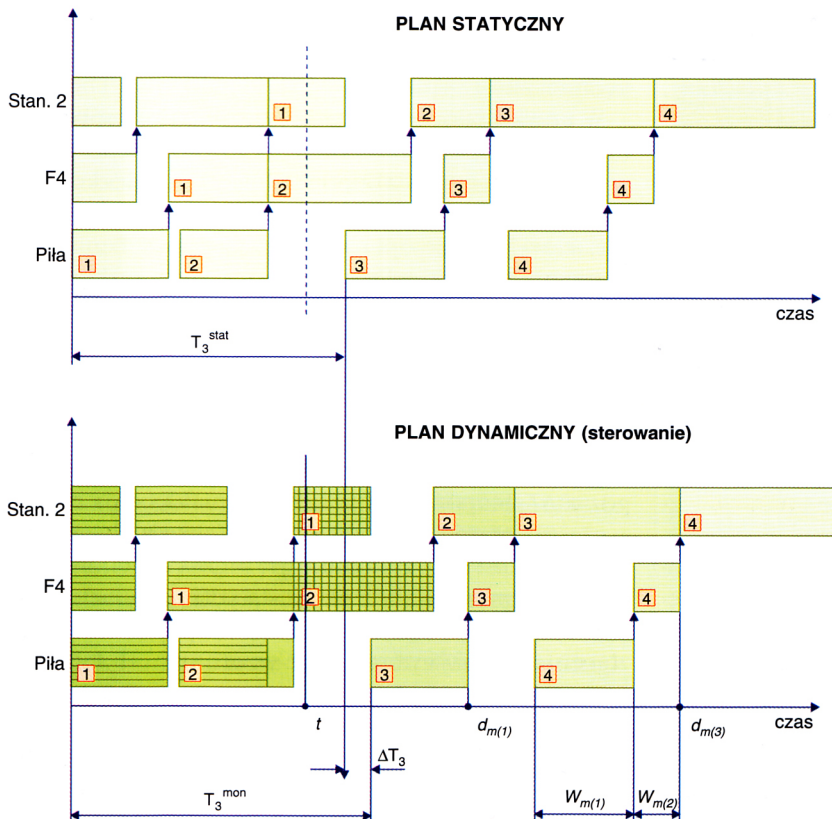
Plan produkcji można układać na kilka sposobów: statycznie, dynamicznie lub dwuetapowo, łącząc ze sobą plan statyczny i dynamiczny.

Plan statyczny (rys. 2, kolor jasnozielony) układa się przed rozpoczęciem produkcji na podstawie danych o przewidywanym czasie trwania operacji wytwórczych i transportowych oraz przewidywanej dostępności zasobów. Wynikiem przeprowadzonych obliczeń jest plan zawierający obciążenia maszyn (lub bardziej ogólnie zasobów) na czas, który był horyzontem (okresem) planowania. Poważnym problemem jest tutaj dokładność danych wejściowych, jakość dokonywanych prognoz oraz ocena ryzyka wystąpienia zakłóceń.

Dr inż. Radosław Cechowicz, Katedra Automatykacji, Politechnika Lubelska



Rys. 1. Proces przygotowania ścieżek technologicznych dla planu statycznego



Rys. 2. Plan statyczny i jego realizacja na poziomie operacyjnym; 1, 2, 3, 4 – numery zleceń, pozostałe oznaczenia opisane w tekście

Plan dynamiczny jest układany na bieżąco w miarę napływania zamówień. Proces planowania dynamicznego można wyjaśnić, porównując go do pracy mistrza odpowiedzialnego za przebieg produkcji. Mistrz kierując się pewnymi zasadami (doświadczeniem) i obserwując pracę maszyn, steruje przebiegiem produkcji, wyznaczając kto i na jakiej maszynie ma wykonywać poszczególne operacje [2]. Zaletą takiego sposobu planowania jest jego elastyczność i zdolność do szybkiego dostosowania podejmowanych działań do zaistniałej sytuacji.

Trzecia strategia planowania jest próbą połączenia zalet dwóch wcześniejszych. Opracowany plan statyczny jest przekazywany na poziom operacyjny, gdzie mistrz stara się go realizować do chwili wystąpienia zdarzenia, które nie były w nim przewidziane. W strategii mieszanej można stosować bardziej ogólne plany statyczne, dopuszczając tym samym możliwość wykonywania pewnych modyfikacji w czasie produkcji. W przypadku systemu przepływowego wystarczającym może okazać się plan statyczny zawierający jedynie zapis kolejności uruchamiania nowych zleceń.

Plan statyczny

Celem planowania statycznego jest znalezienie takiej kolejności zleceń, przy której przyjęte kryterium oceny (wskaźnik) przybierze wartość minimalną. Wskaźnikiem może być np. całkowity czas wykonania wszystkich zleceń C_{max} . Plan o najmniejszym wskaźniku jest planem optymalnym.

Znalezienie planu optymalnego może się okazać trudne. W [7] wykazano, że przypadek planowania kolejności wykonania zleceń w systemie przepływowym bez postojów jest NP-zupełny już dla systemu zawierającego trzy maszyny. Oznacza to, że nie istnieje (lub nie jest znany) algorytm, który gwarantuje znalezienie rozwiązania optymalnego bez konieczności sprawdzenia wszystkich możliwych planów.

Tabela 2. Liczba rozwiązań (planów statycznych) dla N zleceń, gdy każde zlecenie ma jedną ścieżkę technologiczną (wartość P_N) oraz gdy każde zlecenie może być wykonane na dwa sposoby (wartość P_{NL})

N	$P_N = N!$	$P_{NL} (L=2)$
2	2	8
4	24	384
6	720	46 080
8	40 320	1,032 · 10 ⁷
10	3,629 · 10 ⁶	3,716 · 10 ⁹

Jak pokazano w tab. 2, liczba możliwych uszeregowania (planów) $P_N = N!$ rośnie bardzo szybko. Z tego powodu, w praktyce często rezygnuje się z poszukiwania planu optymalnego na rzecz planu, który byłby „wystarczająco dobry”, ograniczając w ten sposób liczbę obliczeń (a więc i czas) potrzebną na ich wykonanie. Stosuje się wtedy jedną z metod:

- aproksymacja – algorytm znajduje plan gorszy co najwyżej o pewną znaną wartość od rozwiązania optymalnego – przykład w [8];
- analiza przypadku – algorytm stara się dopasować problem do jednego z przypadków, które były rozwiązane wcześniej; metoda skuteczna np. na dworcu autobusowym gdzie co tydzień realizowany jest ten sam rozkład;
- algorytm heurystyczny – realizuje pewien sposób postępowania, o którym wiadomo, że pozwala znaleźć wystarczająco dobre rozwiązanie dla pewnej klasy (ale nie dla wszystkich) problemów – przykłady w [4];
- rozwiązanie arbitralne – algorytm realizuje założoną z góry strategię (np. układu zlecenia w kolejności ich nadejścia); rozwiązanie najprostsze, w niektórych przypadkach może okazać się wystarczające.

Przygotowanie ścieżek technologicznych

Aby znaleźć ścieżki technologiczne, należy przeprowadzić ocenę wykonalności zlecenia w systemie wytwórczym. Proces przedstawiony na rys. 1 przebiega następująco:

- odczytywanie technologii produkcji;
- dla każdej operacji zapisanej w technologii poszukiwanie maszyny, na której można tę operację wykonać;
- z otrzymanych danych formowanie ścieżek technologicznych (zawierających konkretne maszyny), według których można zlecenie wykonać.

Powstały w ten sposób zbiór ścieżek jest gotowy do następnego etapu – poszukiwania najlepszego planu statycznego. W podobny sposób należy przygotować ścieżki dla wszystkich zleceń.

Można zauważyć, że przy takim systemie generowania ścieżek dostawienie lub wyłączenie maszyny w systemie nie stanowi problemu – zmiana zostanie natychmiast uwzględniona w otrzymanym zbiorze.

Przygotowanie planu statycznego

Liczba kombinacji $({}_N C_L)N$ zleceń, z których każde można wykonać na L sposobów, jest równa:

$${}_N C^L = L^N \quad (1)$$

Łączna liczba różnych planów P_{NL} , jaką można wygenerować wynosi więc:

$$P_{NL} = N! \cdot {}_N C_L = N! L^N \quad (2)$$

Przykładowe wartości P_{NL} dla N zleceń, z których każde może być wykonane na dwa sposoby, są podane w tab. 2. Sprawdzenie wszystkich planów statycznych i wybranie z nich najlepszego może więc okazać się czasochłonne. Aby ograniczyć czas obliczeń, autorzy raportu [3] zaproponowali rozwiązanie polegające na tym, że operację generowania planu statycznego przeprowadza się dla każdego napływającego zlecenia. Wtedy liczba alternatywnych planów, jakie można wygenerować jest równa liczebności zbioru ścieżek. Plan, dla którego wskaźnik oceny będzie miał najlepszą wartość, zostanie przekazany do realizacji na poziomie operacyjnym.

Plan dynamiczny – uruchamianie zleceń

Plan statyczny przekazany na poziom operacyjny staje się prognozą, jak system wytwórczy powinien pracować przez najbliższy czas. Sterowanie na poziomie operacyjnym polega na korekcy terminów rozpoczęcia realizacji nowych zleceń. Warunkiem koniecznym jest tutaj istnienie sprawnego systemu monitorowania systemu wytwórczego, na co wielokrotnie zwracają uwagę m.in. autorzy publikacji [5].

W przykładzie na rys. 2 pokazano w jaki sposób drobne zakłócenia mogą zostać skorygowane na poziomie operacyjnym poprzez odpowiednie przesunięcie terminu uruchamiania nowych zleceń. W chwili t wiadomo już, że wykonanie operacji należącej do zlecenia 1 na maszynie F4 trwało dłużej niż planowano, wskutek tego zlecenie 2 musiało zostać przetrzymane na maszynie „Piła”. Aby uniknąć podobnej sytuacji w przypadku zlecenia 3, koryguje się termin jego uruchomienia, przesuując go o:

$$\Delta T_z = T_z^{\text{mon}} - T_z^{\text{stat}} \quad (3)$$

gdzie: ΔT_z – opóźnienie uruchomienia zlecenia z , T_z^{mon} – czas rozpoczęcia zlecenia z wynikający z obserwacji (bieżącego stanu) systemu, T_z^{stat} – czas uruchomienia zlecenia z wynikający z planu statycznego.

W systemie przepływowym wartość T_z^{mon} dla z -tego zlecenia można wyznaczyć ze wzoru:

$$T_z^{\text{mon}} = \max \left\{ d_{m(1)}, d_{m(2)} - w_{m(1)}, \dots, d_{m(K)} - \sum_{i=1}^K w_{m(i-1)} \right\} \quad (4)$$

gdzie: K – liczba operacji w zleceniu; $m(k)$ – maszyna, na której wykonywana jest operacja k ; $d_{m(k)}$ – najwcześniejsza możliwa chwila rozpoczęcia nowej ope-

racji na maszynie $m(k)$; $w_{m(k)}$ – czas wykonania operacji na maszynie $m(k)$ (prognoza lub faktyczny czas operacji).

Na rys. 2 pokazano interpretację graficzną wielkości $d_{m(k)}$ i $w_{m(k)}$ dla zlecenia 4. Rozwiązaniem równania (4) jest w tym przypadku chwila

$$T_4^{\text{mon}} = d_{m(3)} - (w_{m(1)} + w_{m(1)}).$$

Kontrola stanu systemu w planowaniu dynamicznym jest prowadzona na bieżąco, pozwala w sposób realny ocenić czas rozpoczęcia zlecenia.

Podsumowanie

Plan statyczny jest dobrym punktem wyjścia do sterowania systemem produkcyjnym na poziomie operacyjnym, ale do tego aby podejmowane działania były efektywne potrzebny jest wyspecjalizowany system sterowania dysponujący bieżącymi danymi z monitoringu zasobów. Rozwiązania tego typu są coraz częściej stosowane w praktyce przemysłowej [1, 5, 6]. Zmiana strategii planowania może być wymuszona koniecznością radykalnego zmniejszenia serii produkcyjnych, często przy równoczesnym zwiększeniu asortymentu. Głównym celem planowania staje się wtedy zapewnienie ciągłości produkcji, a nie zapewnienie jej optymalnego przebiegu.

Bibliografia

1. Best Practice Survey, Lockheed Martin Tactical Aircraft Systems, Manufacturing Resource Planning and Production, 1999, http://www.bmpcoe.org/bestpractices/internal/lmtas/lmtas_25.html.
2. Cechowicz R., Szeregowanie holonowe – produkcja bez kłopotów? PAR 9/2002, s. 24–25.
3. Cechowicz R., Płaska S., Bogucki M., Czaplą J., Stączek P., Wolszczak P., Wołos D., Holonowy system szeregowania zadań w wielomaszynowym środowisku wytwarzania, Raport z realizacji projektu badawczego KBN nr 7T07D01018, Lublin, 2003.
4. Fink A., Voß S., Applications of Modern Heuristic Search Methods to Continous Flow-Shop Sequencing Problems, 1998, <http://www.winforms.phil.tubs.de/personal/afink/cfs.pdf>.
5. Ito Y. (ed.), Human-Intelligence-Based Manufacturing, Springer-Verlag, 1993, ISBN0-38-719793-1.
6. MRP software, 40 years old, can't drive today's manufacturing, 2003, <http://www.nmetric.com/mrp-software.asp>.
7. Röck H., The Three-Machine No-Wait Flow Shop Is NP-Complete, Journal of the Association for Computing Machinery, Vol. 31, nr 2, pp. 336–345, 1984.
8. Sviridenko M., A Note on Permutation Flow Shop Problem, IBM Research Division, Yorktown Heights, NY, USA, 2003. ■

Streszczenia artykułów naukowych

Połączyć planowanie ze sterowaniem — Plan dynamiczny, Radosław Cechowicz — s. 24

Przedstawiono przykładowe rozwiązanie problemu szeregowania zleceń w warsztacie przepływowym, w którym zadania muszą być wykonywane bez przerw pomiędzy poszczególnymi maszynami. Opisy technologii i opisy zdolności technologicznych maszyn są rozdzielone, co pozwala na uzyskanie elastyczności technologicznej systemu. Zaproponowano dwuetapowy algorytm szeregowania pozwalający na bieżącą (dynamiczną) korektę planu w przypadku wystąpienia zakłóceń.