

Paweł ANTCZAK, Arkadiusz ANTCZAK, Tadeusz WITKOWSKI
Politechnika Warszawska

BADANIE WPŁYWU STOPNIA ELASTYCZNOŚCI MASZYN NA OGÓLNY CZAS WYKONANIA ZADAŃ PRODUKCYJNYCH

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ elastyczności maszyn w procesie wytwarzania na sumaryczny czas wykonania zadań produkcyjnych. Analizowany jest problem szeregowania w gniazdach z maszynami elastycznymi (rozszerzenie klasycznego problemu szeregowania w gniazdach), który jest bardziej zbliżony do warunków rzeczywistych. Do oceny czasu realizacji zadań wykorzystano algorytm heurystyczny.

THE INFLUENCE OF FLEXIBILITY OF MACHINES TO COMPLETION TIME OF THE JOBS (MAKESPAN)

Summary. In the paper the influence of flexibility of the machines in manufacturing process to completion time of the jobs (makespan) is discussed. The flexible job shop scheduling problem (an extension of the classical job shop scheduling), which provides a closer approximation to real scheduling problems is analyzed. To estimate makespan the heuristic algorithm have been used.

1. Wprowadzenie

Współczesne systemy produkcyjne ewoluują w kierunku organizacji bazujących na coraz bardziej autonomicznych grupach. Takie systemy powinny się charakteryzować wysoką elastycznością, co powoduje rozwiązywanie nowych problemów z zakresu szeregowania (m.in. *flexible job shop scheduling problem*) [8].

Elastyczność jest własnością systemów produkcyjnych (SP) polegającą na łatwości dostosowania się do zmiennych zadań produkcyjnych przy ustalonym składzie i strukturze systemu. Jest ona determinowana zawsze określonymi czynnikami ekonomicznymi, np. kosztami przebrojeń. Główne źródła efektów większej elastyczności to: skrócenie długości cykli, lepsza terminowość produkcji, skrócenie czasu przebrojeń czy też łatwość przebrojeń. Elastyczność SP określają dwie cechy [3,4,6]:

- wielostronność, czyli liczba różnych wyrobów, które może produkować SP,
- zdolność adaptacji, czyli zdolność SP do samodzielnego przystosowania się do produkcji nowych wyrobów w zmiennej kolejności ich zleceń.

Elastyczność SP jest zdeterminowana dwoma czynnikami: elastycznością elementów SP oraz elastycznością struktury systemu, tj. zdolnością realizacji różnych sprzężeń między elementami SP. Na elastyczność elementów SP składają się:

- wielostronność technologiczna (uniwersalność) określana zakresem możliwych do wykonania na niej zabiegów obróbkowych,
- elastyczność technologiczna polegająca głównie na łatwości zmiany narzędzi i przyrządów (przezbierania) potrzebnych do wykonania wyznaczonych operacji,
- elastyczność układu sterowania (spełniona całkowicie przez układy sterowania CNC),
- elastyczność urządzeń pomocniczych: urządzeń transportowych (podajników przedmiotów, uchwytów), urządzeń pomiarowo-kontrolnych i in.

Ze względu na wielostronność technologiczną maszyn można wyróżnić dwa rodzaje elastycznych SP:

- systemy z obrabiarkami uzupełniającymi się (specjalizowanymi), w których kolejność obróbki (przydział do stanowisk) części jest zdeterminowana przez marszrutę technologiczną,
- systemy z obrabiarkami zamiennymi, w których dowolna operacja każdej części produkowanej w SP może być wykonana na dowolnej obrabiarce (podstawowym elementem takich SP są obrabiarki wielofunkcyjne, np. centra obróbkowe CNC).

W pracy zbadano zależność sumarycznego czasu wykonania zadań od stopnia elastyczności maszyn dla FJSP.

2. Sformułowanie zadania

Przedstawmy sformułowanie rozwiązywanego zadania dla problemu gniazdowego [5]. Określono zbiór maszyn M (m - moc zbioru M), zbiór operacji O , elementami którego są poszczególne operacje technologiczne σ^i , $i = 1..n$, gdzie n - moc zbioru O . Każdej operacji $\sigma^i \in O$ przypisano podzbiór maszyn $M^i \in M$, które mogą je wykonywać. Zbiór operacji O jest częściowo uszeregowany. Oznaczmy to częściowe uszeregowanie symbolem \prec . Z punktu widzenia ograniczeń technologicznych dla operacji σ^i , $\sigma^j \in O$ relacja « $\sigma^i \prec \sigma^j$ » oznacza, że operacja σ^i powinna być wykonana przed rozpoczęciem operacji σ^j . Niech dla operacji σ^i : $p(\sigma^i)$ - czas, niezbędny dla wykonania operacji (jednakowy dla wszystkich maszyn), $t(\sigma^i)$ - czas, niezbędny dla przebrojenia maszyny przed wykonaniem danej operacji.

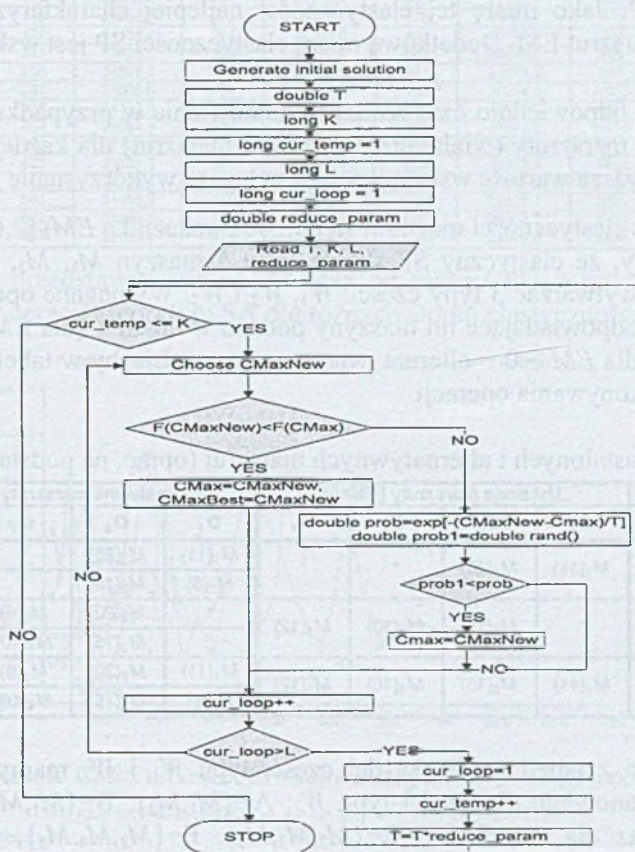
Rozwiązanie analizowanego problemu polega na tym, aby wybrać dla każdej operacji $\sigma^i \in O$ maszynę ze zbioru M^i ($i = 1..n$) i następnie określić sekwencję wykonania operacji na maszynach ze zbioru M , w taki sposób, aby określony harmonogram minimalizował sumaryczny czas wykonania wszystkich prac (makespan) - CMax.

Sformalizowaną postać problemu FJSP przedstawiono w [1].

3. Algorytm optymalizacji

W pracy do badań wpływu stopnia elastyczności maszyn na ogólny czas wykonania zadań produkcyjnych wykorzystano metodę symulowanego wyżarzania

[7]. Niżej przedstawiono ogólny schemat tego algorytmu, którego etapy szczegółowo przedstawiono w [1], gdzie: T – temperatura początkowa, K – liczba zmian temperatury, L – liczba iteracji ze stałą temperaturą, $reduce_param$ – współczynnik zmniejszenia temperatury, cur_temp – zmienna służąca do zliczania liczby temperatur, cur_loop – zmienna zliczająca liczbę iteracji przy stałej temperaturze, $Cmax$ – wartość bieżącego rozwiązania, $CMaxNew$ – wartość nowego utworzonego rozwiązania, $CMaxBest$ – wartość najlepszego znalezionej rozwiązania.



Rys. 1. Ogólny schemat blokowy algorytmu symulowanego wyżarzania

4. Eksperyment komputerowy

Elastyczność, która jest podstawową cechą elastycznych systemów produkcyjnych (ESP), jest definiowana na wiele sposobów. Ogólnie mówiąc, elastyczność SP jest miarą adaptowania się do zmieniających się wymagań rynku i samego procesu wytwórczego. Elastyczność można ocenić za pomocą dwóch czynników: szybkości reagowania na zmiany i kosztu reagowania na zmiany.

Spośród wielu rodzajów elastyczności, które charakteryzują ESP [6] z różnych punktów widzenia, takich jak elastyczność maszyn, elastyczność asortymentu produkcji, elastyczność wielkości produkcji i wielu innych, w pracy rozpatrzono głównie elastyczność marszrut technologicznych. Elastyczność marszrut istnieje

wtedy, gdy dany typ części można produkować, wykorzystując różne marszrutę przepływu przez system lub gdy operację tego samego typu można wykonać na wielu maszynach. Przyjmuje się następującą miarę elastyczności marszrut:

$$EM = (\text{liczba wszystkich marszrut/liczba typów części}) - 1 \quad (1)$$

przy czym, jeżeli dla każdego typu części istnieje tylko jedna ustalona marszruta przepływu przez SP, to elastyczność $EM = 0$ (przypadek dla konwencjonalnych SP).

Poniżej przedstawimy przykład liczbowy ilustrujący korzyści, jakie przynosi elastyczność SP. Jako miarę tej elastyczności najlepiej charakteryzującą ESP jest elastyczność marszrut EM. Dodatkową miarą elastyczności SP jest wskaźnik [2, 6]

$$\gamma = (T_{1m} - T_{vm}) / T_{1m} \quad (2)$$

gdzie: T_{1m} , T_{vm} odpowiednio czas realizacji zamówienia w przypadku wykorzystania jednej ustalonej marszrutę (wielu alternatywnych marszrut) dla każdej części $EM = 0$ ($EM > 0$). Im wyższa wartość wskaźnika γ , tym lepsze wykorzystanie systemu SP.

Przykład (ocena elastyczności marszrut za pomocą wskaźnika EM) [2,6]

Przyjmujemy, że elastyczny SP składa się z 5 maszyn M_1, M_2, M_3, M_4, M_5 , na których można wytwarzać 3 typy części: W_1, W_2 i W_3 . Wymagane operacje dla części każdego typu i odpowiadające im maszyny podano w tabeli 1 (dla $EM = 0$ – ustalone marszrutę oraz dla $EM > 0$ – alternatywne marszrutę). Liczby w tabeli 1 reprezentują czasy [min] wykonywania operacji.

Tabela 1

Dane dla ustalonych i alternatywnych marszrut (oprac. na podstawie [2,6])

Wyr. \ Oper.	Ustalone marszrutę ($EM=0$)				Alternatywne marszrutę ($EM>0$)			
	O_1	O_2	O_3	O_4	O_1	O_2	O_3	O_4
W_1	$M_1(11)$	$M_2(20)$	.	.	$M_1(11)$	$M_2(20)$	.	.
					$M_2(8)$	$M_3(15)$	.	.
W_2	.	$M_3(15)$	$M_4(10)$	$M_5(12)$	.	$M_2(20)$	$M_3(6)$	$M_5(12)$
					.	$M_3(15)$	$M_4(10)$	.
W_3	$M_1(11)$	$M_3(15)$	$M_4(10)$	$M_5(12)$	$M_1(11)$	$M_2(20)$	$M_3(6)$	$M_5(12)$
					$M_2(8)$	$M_3(15)$	$M_4(10)$	.

Jak wynika z tabeli 1, dla każdej części typu W_1 i W_2 mamy po 4 możliwe marszrutę, a mianowicie dla części typu W_1 : A- $\{M_1, M_2\}$, B- $\{M_1, M_3\}$, C- $\{M_2, M_2\}$, D- $\{M_2, M_3\}$ oraz dla części W_2 : E- $\{M_2, M_3, M_5\}$, F- $\{M_2, M_4, M_5\}$, G- $\{M_3, M_3, M_5\}$, H- $\{M_3, M_4, M_5\}$. Dla części W_3 mamy 8 marszrut: I- $\{M_1, M_2, M_3, M_5\}$, J- $\{M_1, M_2, M_4, M_5\}$, K- $\{M_1, M_3, M_3, M_5\}$, L- $\{M_1, M_3, M_4, M_5\}$, M- $\{M_2, M_2, M_3, M_5\}$, N- $\{M_2, M_2, M_4, M_5\}$, O- $\{M_2, M_3, M_3, M_5\}$ oraz P- M_2, M_3, M_4, M_5 . Tak więc elastyczność marszrut $EM = [(4+4+8)/3] - 1 = 4,3$, tj. każda z 3 części może być wytwarzana przy zastosowaniu około 5 różnych marszrut.

W pracy zbadano zależność sumarycznego czasu wykonania zadań w zależności od stopnia elastyczności wyposażenia dla FJSP. Przy czym wyrażenie FJSP (μ_1, μ_2) oznacza problem FJSP z maszynami o stopniu elastyczności i wydajności (odpowiednio). Wyniki dla szeregowo-równoległego przepływu części [8] z zastosowaniem algorytmu symulowanego wyznaczania (SA) zostały przedstawione w tabeli 2 (w tym przypadku uwzględniono tylko stopień elastyczności maszyn). Maksymalny CMax (przy najniższym stopniu elastyczności – 0,2) wyniósł

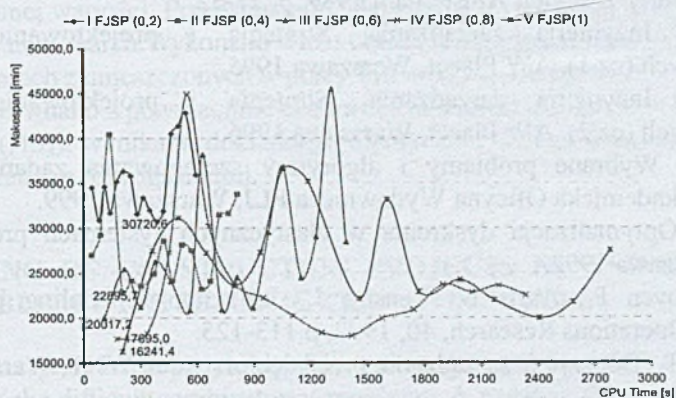
30720,6 minut, zaś minimalny (przy stopniu elastyczności równym 1) równał się 16242,3 minut. Oznacza to poprawę wartości o 47,1%.

Tabela 2

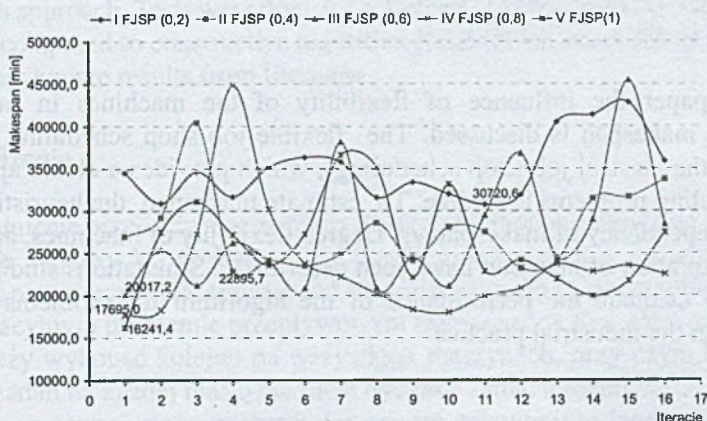
Zestawienie rezultatów eksperymentów dla różnego stopnia elastyczności maszyn

Iteracje	Stopień elastyczności									
	I FJSP (0,2)	CPU Time	II FJSP (0,4)	CPU Time	III FJSP (0,6)	CPU Time	IV FJSP (0,8)	CPU Time	V FJSP(1)	CPU Time
1	34509,6	45	26993,5	42	20017,2	109	17695,0	176	16241,4	205
2	30900,6	83	29231,9	90	25435,2	216	18307,1	335	27479,1	363
3	34639,6	112	40432,1	139	21213,4	301	27265,4	453	31119,1	501
4	31679,7	142	22895,7	203	26229,2	378	44887,7	548	27194,7	648
5	35174,4	177	24130,4	254	24065,0	461	30199,9	663	23574,1	798
6	36346,6	211	23525,6	303	20852,9	561	23812,0	795	27261,5	934
7	35814,3	250	24882,3	371	38169,5	631	22223,3	948	36624,8	1054
8	31582,5	283	28566,0	424	20889,6	730	20214,3	1105	35181,6	1186
9	33349,9	316	24132,0	470	24493,0	810	18327,2	1256	22106,9	1455
10	31986,5	350	28094,3	520	21095,7	894	17971,2	1414	33159,9	1603
11	30720,6	390	27497,5	570	29485,7	978	19934,6	1576	22868,3	1770
12	31887,6	423	23201,1	624	36784,1	1054	20873,6	1741	24196,2	1988
13	40472,7	465	24054,1	670	24439,6	1148	23662,2	1897	21948,5	2168
14	41360,5	502	31465,9	718	28983,7	1228	22818,7	2051	19944,9	2405
15	42809,9	542	31640,0	767	45447,2	1310	23557,7	2191	21738,6	2583
16	35891,4	595	33738,4	814	28419,6	1386	22519,0	2333	27474,7	2782

Rysunek 2 przedstawia zależność CMax od czasu CPU, a rysunek 3 zależność CMax od liczby iteracji algorytmu SA dla różnych stopni elastyczności maszyn.



Rys. 2. Zależność CMax od czasu CPU dla różnego stopnia elastyczności maszyn



Rys. 3. Zależność CMax od liczby iteracji algorytmu SA dla różnego stopnia elastyczności maszyn

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono analizę wpływu stopnia elastyczności maszyn na sumaryczny czas wykonania zbioru zadań produkcyjnych, przy czym do optymalizacji wybrano określoną heurystykę. Celem tego typu badań jest określenie najbardziej racjonalnej struktury SP w zależności od rodzaju wykonywanych zadań. Zastosowanie wybranych algorytmów ilustrują wyniki eksperymentów obliczeniowych wykonanych na danych z konkretnych przykładów produkcyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. Antczak P., Antczak A., Witkowski T.: Zastosowanie algorytmu symulowanego wyżarzania do optymalizacji harmonogramowania produkcji małoseryjnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (seria Automatyka), z. 144, 2006, s. 11-16.
2. Chung C.H., Chen I.J.: A systematic assessment of the value of flexibility for an FMS. Proceedings of the Third ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: Operations Research Models and Applications (eds. K.E. Stecke i R.Suri). Elsevier, Amsterdam 1989, p. 27-32.
3. Durlik I.: Inżynieria zarządzania. Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych (cz.1). AW Placet, Warszawa 1995.
4. Durlik I.: Inżynieria zarządzania, Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych (cz.2). AW Placet, Warszawa 1996.
5. Janiak A.: Wybrane problemy i algorytmy szeregowania zadań i rozdziału zasobów. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1999.
6. Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa 1992.
7. Van Laarhoven P., Aarts E., Lenstra J.: Job shop scheduling by simulated annealing. Operations Research, 40, 1992, p.113-125.
8. Witkowski T.: Decyzje w zarządzaniu przedsiębiorstwem. WNT, Warszawa 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bożena Skołod

Abstract

In the paper the influence of flexibility of the machines in manufacturing operations to makespan is discussed. The flexible job shop scheduling problem (an extension of the classical job shop scheduling), which provides a closer approximation to real scheduling problems is analyzed. To estimate makespan the heuristic algorithms were used. Dependency of makespan vs. Degree flexibility of machines, and makespan vs. Number iteration of heuristic have been described. Simulations studies have been performed to evaluate the performance of the algorithm for problems that can be encountered in the industrial practice.