

Arkadiusz ANTCZAK, Paweł ANTCZAK, Tadeusz WITKOWSKI
Politechnika Warszawska

ANALIZA WPŁYWU TYPU ORGANIZACJI PRODUKCJI NA SUMARYCZNY CZAS WYKONANIA ZADAŃ PRODUKCYJNYCH

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ typu organizacji produkcji 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.

ANALIZE OF THE INFLUENCE OF PROCESS TYPE TO COMPLETION TIME OF THE JOBS (MAKESPAN)

Summary. In the paper the influence of process types 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 analyze. To estimate makespan the heuristic algorithm have been used.

1. Wprowadzenie

Organizacja procesów produkcyjnych wiąże się z przydzieleniem określonych zasobów systemu produkcyjnego (SP) do wykonania operacji procesu technologicznego, rozmieszczeniem tych zasobów i opracowaniem przepływu materiałów między tymi zasobami. Sterowanie przepływem produkcji powinno zapewnić uzyskanie możliwie najkorzystniejsze efekty pracy SP, przy istniejących ograniczeniach i uwarunkowaniach. Z punktu widzenia organizacji procesów można mówić o: typach organizacji produkcji (mających ścisły związek ze stanowiskami roboczymi, a przede wszystkim ich stopniem specjalizacji, oraz o formach organizacji produkcji (związanych ze sposobem przepływu materiałów). W ramach pojęcia – typ produkcji, stosowanego przede wszystkim na poziomie stanowiska roboczego, wyróżnia się trzy zasadnicze typy produkcji: jednostkową, masową i seryjną. Ta ostatnia podlega dalszemu podziałowi na małoseryjną, średnioseryjną i wielkoseryjną. Znaczący wpływ na efektywność wykorzystania wyposażenia mają zasady organizacji produkcji. Jednym z głównych wskaźników odzwierciedlającym te zasady jest współczynnik detalooperacji.

W pracy omówiono wpływ typu organizacji produkcji na sumaryczny czas wykonania zbioru zadań produkcyjnych.

2. Sformułowanie problemu

Naszym celem jest określenie najlepszego typu organizacji produkcji do wykonania danego zbioru zadań (dokładnie, przy jakiej wartości współczynnika detalooperacji k wykonamy wszystkie zadania w najkrótszym czasie). Rozpatrywany jest problem gniazdowy [4,6], który można scharakteryzować następująco. Określono zbiór maszyn M , zbiór operacji O , elementami którego są poszczególne operacje produkcyjne. Każdej operacji $\sigma \in O$ przyporządkowano podzbiór maszyn $M(\sigma) \in M$, które mogą je wykonywać. Zbiór O – zbiór częściowo uporządkowany, tj. określono zbiór następstwa kolejności wykonania $C = \{\sigma < \delta\}$, który określa kolejność wykonania operacji (« $\sigma < \delta$ » oznacza, że operacja σ powinna być wykonana przed rozpoczęciem wykonania operacji δ). Dla operacji σ są określone: $p(\sigma)$ – liczba jednostek czasu niezbędna do jej wykonania (jednakowa dla wszystkich maszyn), $t(\sigma)$ – liczba jednostek czasu niezbędna do przezbrajania maszyny przed wykonaniem tej operacji, gdzie $p(\sigma), t(\sigma) \geq 0$, przy czym $\forall \sigma \in O$. Problem określenia najkrótszego czasu wiąże się więc z opracowaniem harmonogramu takiego, aby dla każdej operacji $\sigma \in O$ wybrać maszynę ze zbioru M i następnie określić porządek wykonania operacji na maszynach z M , w ten sposób, aby sumaryczny maksymalny czas wykonania prac był minimalny.

3. Charakterystyka typu organizacji produkcji

Współczynnik detalooperacji k określa się jako stosunek liczby wszystkich operacji technologicznych, wykonywanych w podsystemie wytwarzania w ciągu miesiąca do liczby stanowisk roboczych. W ogólnym przypadku wartość k określa się na podstawie wzoru:

$$k = \sum_{i=1}^m P_{oi} / L_r = \sum_{i=1}^m P_{oi} F / \sum_{i=1}^m N_i t_i \quad (1)$$

gdzie: $\sum_{i=1}^m P_{oi}$ – ogólna liczba operacji technologicznych (prac) dla wszystkich i -tych wyrobów (części, podzespoły) wykonywana w podsystemie w ciągu miesiąca; L_r – liczba wykorzystywanych maszyn, N_i – program miesięczny i -tego wyrobu; t_i – pracochłonność i -tego wyrobu, F – miesięczny fundusz pracy maszyn.

Współczynnik k dla SP (gniazda, wydziału) określa się przy uwzględnieniu sumarycznego oddziaływania detalooperacji, wykonywanych w SP w ciągu określonego czasu. W stosunku do porównywanych okresów czasu t (miesiąc, dekada, dni) wystąpienie konkretnego zbioru detalooperacji w produkcji seryjnej ma charakter losowy. Tak więc współczynnik k jest wielkością losową. Podobnie jak każda wielkość losowa, k rozpatrywana w ciągu szeregu okresów będzie się zmieniać (można określić jej średnią wartość k_{SR}). W miarę przejścia od dni do miesiący zakres wahań zmienia się i wzrasta stabilność wskaźnika k systemu produkcyjnego. Można to stwierdzić na przykładzie obliczenia średniego liniowego odchylenia ρ [5]:

$$\rho = \frac{\sum_{t=1}^T |k_t - k_{SR}|}{T} \quad (2)$$

gdzie T – liczba okresów,
 oraz współczynnika wariancji V_ρ

$$V_\rho = \rho \cdot 100 / k_{SR} \quad (3)$$

Znaczny rozrzut wielkości k związany jest przede wszystkim z okresami wdrożenia produkcji nowych wyrobów. Przejście do regularnej produkcji nowych wyrobów prowadzi do stopniowej stabilizacji wielkości k . Wystąpienie zmiany wielkości k w poszczególnych okresach czasu świadczy o jej wrażliwości na zmiany struktury programu produkcyjnego, parametrów wyrobów itp. Zmiana wielkości partii wyrobów, okresu powtarzalności, długości cyklu produkcyjnego wpływa na liczbę operacji technologicznych, częstość przebrożeń, wielkości produkcji w toku itp.

4. Procedura optymalizacji

W pracy do analizy systemu produkcyjnego wykorzystano algorytm GRASP. Poniżej przedstawiono etapy procedury GRASP.

- | | |
|---|---|
| <p>1: $CL = RCL = \emptyset$
 2: while $CL \neq O$ do
 3: for all $\delta \in O$ do
 4: if $[\exists(\delta, k) \in CL, \forall k \in M] \wedge$
 $\wedge [\exists(\omega, l) \in CL, l \in M, \forall \omega \in JP(\delta)]$ then
 5: for all $k \in M(\delta)$ do
 6: $RCL = RCL \cup (\delta, k)$
 7: wartość $[(\delta, k)] = F(CL \cup (\delta, k))$
 8: end for
 9: end if
 10: end for</p> | <p>11: $LB = \min_{(\delta, k) \in RCL} [\text{wartość} [(\delta, k)]]$
 12: $UB = \max_{(\delta, k) \in RCL} [\text{wartość} [(\delta, k)]]$
 13: α - liczba losowa z wartością $[0, 1]$
 14: Wybrać losowego kandydata (δ, k) ze
 zbioru $Set = \{(\delta, l) : (\delta, k) \in RCL,$
 wartość $[(\delta, k)] \leq LB + \alpha(UB - LB)\}$
 15: wartość $CL = CL \cup (\sigma, k)$
 16: $RCL = \emptyset$
 17: end while
 18: Zwrócić wartość $F(CL)$</p> |
|---|---|

Rys. 1. Pseudokod procedury GRASP

Na rysunku 1 linia kodu 2 rozpoczyna główny cykl projektowania harmonogramu (cykl kończy się, kiedy wszystkie operacje ze zbioru O będą przedstawione parami na liście CL). Linia kodu 4 - wybierane są tylko te operacje, które mogą być dodane do częściowego harmonogramu, bez naruszenia ograniczeń kolejności wykonania operacji. Linie kodu 5 i 6 przedstawiają wszystkie te operacje k , dla których określani są kandydaci na dodanie do częściowego harmonogramu z uwzględnieniem wszystkich możliwych przydziałów na maszyny. Linia kodu 7 – obliczana jest wartość dodania kandydata do częściowego harmonogramu – wartość ta jest równa wielkości C_{max} częściowego harmonogramu po dodaniu kandydata. Linia kodu 14 – w sposób losowy wybierany jest kandydat na dodanie do częściowego harmonogramu z wykorzystaniem otrzymanych wcześniej wartości dla kandydatów.

5. Eksperyment komputerowy

Eksperymenty komputerowe przeprowadzono dla danych przedstawionych w [7]. Liczba operacji dla zestawu zadań produkcyjnych była równa 160, zaś liczba maszyn – 26. Liczba prac w eksperymencie zmieniała się od 1 do 55, natomiast liczba operacji od 151 do 832. Tak więc przeanalizowano współczynnik detalooperacji w zakresie od 5 do 32.

Dla danego rozwiązania zastosowano heurystykę, opartą na procedurze GRASP. Parametr α , który wykorzystuje się do wyboru kandydatów do wstawienia do harmonogramu na etapie konstrukcji rozwiązania, wybierany z przedziału $[0,1]$, w danym przypadku przyjęto równy 0,5. Przeprowadzono 5 prób, przy czym dla każdego eksperymentu wykonano 5000 iteracji. Najlepsze rozwiązanie dla przebiegu szeregowego, równe 26055,3 min (tab. 1) przy $k = 29$, a więc przy uruchomieniu dużej liczby partii produkcyjnych (współczynnik k jest odwrotnie proporcjonalny do n wielkości partii produkcyjnej).

Najlepszą średnią wartość makespanu (sumarycznego czasu wykonania wszystkich zadań – C_{max}) otrzymano również dla dużej wartości k , a mianowicie $k = 30$ równą 26 385,9 min. Zależność wartości C_{max} od wartości k dla przepływu szeregowego części, określoną na podstawie wykorzystania algorytmu GRASP, przedstawia tabela 1.

Tabela 1

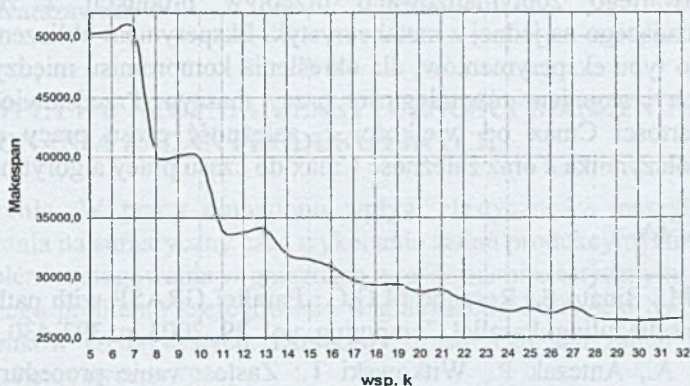
Zależność wartości C_{max} od wartości k

Liczba prac	Liczba det-op.	k	C_{max} / C_{zas} [sec.]					SZEREGOWY					Alpha = 0,5		Iter = 5000		Średni C_{max}	Średni Czas
			1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	1	1				
10	151	5	50242,2	32	50242,2	31	50242,2	31	50242,2	32	50242,2	32	50242,2	32	50242,2	32	50242,2	31,6
11	166	6	50275,0	36	50729,1	36	50242,2	36	50313,8	36	50464,3	36	50464,3	36	50404,9	36,0	50404,9	36,0
13	196	7	50242,2	50	50242,2	49	51124,9	49	51294,8	50	51178,7	50	50816,6	50	50816,6	49,6	50816,6	49,6
14	212	8	39677,9	58	40429,4	58	40328,7	57	39788,3	57	40533,6	57	40151,6	57,4	40151,6	57,4	40151,6	57,4
16	244	9	39724,8	73	40033,2	73	40290,6	74	40425,4	73	40033,3	73	40101,5	73,2	40101,5	73,2	40101,5	73,2
17	260	10	40085,1	81	39645,5	80	39091,3	80	40370,5	80	40548,9	80	39948,3	80,2	39948,3	80,2	39948,3	80,2
20	302	11	34068,4	102	34566,0	102	34260,8	102	34089,2	102	32749,4	102	33946,8	102,0	33946,8	102,0	33946,8	102,0
21	317	12	33473,7	114	34664,6	115	34025,5	114	32921,3	115	33725,0	115	33762,0	114,6	33762,0	114,6	33762,0	114,6
23	347	13	34400,4	141	34165,4	141	33937,9	141	33820,5	141	33884,1	141	34041,7	141,0	34041,7	141,0	34041,7	141,0
25	379	14	31704,3	170	32170,9	170	31806,6	171	31361,0	170	32635,4	170	31935,6	170,2	31935,6	170,2	31935,6	170,2
26	395	15	31222,4	183	32129,1	184	31070,2	183	31715,7	183	31511,0	183	31529,7	183,2	31529,7	183,2	31529,7	183,2
28	424	16	30390,2	214	31321,3	213	31207,8	214	31013,8	214	30689,6	213	30924,5	213,6	30924,5	213,6	30924,5	213,6
30	453	17	29795,3	239	29841,8	239	29745,1	239	29821,1	239	29796,0	239	29799,9	239,0	29799,9	239,0	29799,9	239,0
31	468	18	29236,2	259	29667,1	259	29081,1	259	29406,7	260	29297,8	259	29337,8	259,2	29337,8	259,2	29337,8	259,2
33	498	19	29698,1	303	29344,2	303	29553,7	303	29367,6	303	29245,8	304	29441,9	303,2	29441,9	303,2	29441,9	303,2
35	530	20	28586,5	349	28729,5	348	28143,2	348	29392,7	349	29200,6	349	28810,5	348,6	28810,5	348,6	28810,5	348,6
36	546	21	29267,4	370	29155,8	373	28531,7	373	28978,5	373	28993,2	373	28985,3	372,4	28985,3	372,4	28985,3	372,4
38	575	22	28096,7	426	28369,1	426	28221,3	427	28078,9	427	27802,4	427,0	28113,7	426,6	28113,7	426,6	28113,7	426,6
40	604	23	27666,3	461	27490,4	461	27350,4	460	27674,0	460	27649,2	460	27566,1	460,4	27566,1	460,4	27566,1	460,4
42	634	24	27202,9	531	27376,9	532	27228,5	532	27093,5	532	27062,8	533	27192,9	532,0	27192,9	532,0	27192,9	532,0
44	665	25	27742,8	601	27224,8	599	27090,8	597	27508,8	598	27596,2	599	27432,7	598,8	27432,7	598,8	27432,7	598,8
45	681	26	26668,9	636	27121,8	634	26798,7	633	27298,6	634	26847,6	629	26965,3	633,2	26965,3	633,2	26965,3	633,2
47	713	27	27384,7	694	27358,1	700	27582,0	696	27661,8	697	27631,7	697	27523,7	696,8	27523,7	696,8	27523,7	696,8
49	740	28	26848,0	762	26404,6	762	26709,9	762	26709,9	762	26633,9	761	26664,9	761,8	26664,9	761,8	26664,9	761,8
50	755	29	26757,2	790	26697,0	790	26055,3	784	26396,7	789	26353,8	789	26452,0	788,4	26452,0	788,4	26452,0	788,4
52	785	30	26710,2	899	26367,7	898	26102,2	894	26296,0	897	26453,4	897	26385,9	897,0	26385,9	897,0	26385,9	897,0
54	816	31	26552,3	994	26800,7	993	26208,1	984	26269,9	986	26752,1	984	26516,6	988,2	26516,6	988,2	26516,6	988,2
55	832	32	26337,2	1032	26654,5	1033	26774,9	1032	26774,9	1034	26864,9	1033	26681,3	1032,8	26681,3	1032,8	26681,3	1032,8

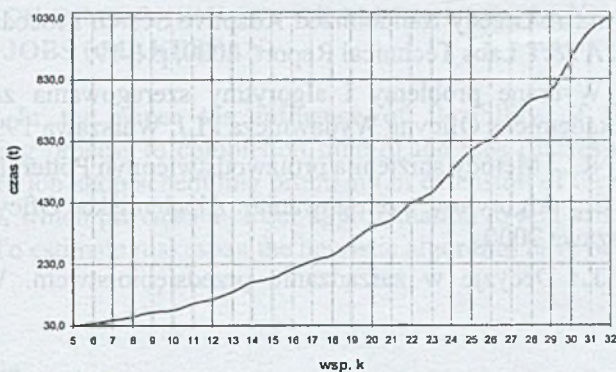
Na rysunku 2 przedstawiono graficznie zależność wartości C_{max} od wielkości k . Jak widać, dla danej struktury danych wraz ze wzrostem wielkości k maleje sumaryczny czas wykonania wszystkich zadań. Mimo większej liczby partii produkcyjnych (mających wpływ na ogólny czas przezbrajania) uzyskuje się korzystną wartość C_{max} dzięki zwiększonej równoległości pracy maszyn.

Na rysunku 3 przedstawiono zależność czasu pracy algorytmu GRASP od wartości współczynnika k . Jak widać z rys. 3. wraz ze wzrostem wartości k rośnie czas pracy algorytmu (większy rozmiar zadania).

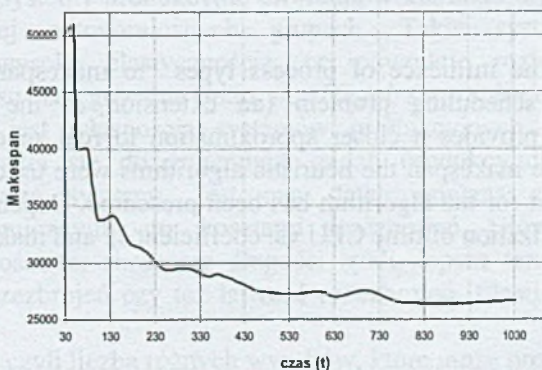
Na rysunku 4 przedstawiono zależność C_{max} od czasu pracy algorytmu.



Rys. 2. Zależność wartości C_{max} od wartości k



Rys. 3. Zależność czasu pracy algorytmu od wartości k



Rys. 4. Zależność C_{max} od czasu pracy algorytmu

Podsumowanie

W pracy przeanalizowano wpływ wartości współczynnika detalooperacji k na sumaryczny czas wykonania wszystkich zadań produkcyjnych. Dla problemu gniazdowo-otwartego zoptymalizowano przepływ produkcji z zastosowaniem algorytmu bazującego na jednej z metaheurystyk. Eksperyment obliczeniowy pokazał celowość tego typu eksperymentów, dla określenia kompromisu między liczbą partii produkcyjnych i stopniem równoległości pracy maszyn. Przedstawiono graficznie zależność wartości C_{max} od wielkości k , zależność czasu pracy algorytmu od wartości współczynnika k oraz zależność C_{max} do czasu pracy algorytmu

BIBLIOGRAFIA

1. Aiex R.M., Binato S., Resende M.G.C.: Parallel GRASP with path-relinking for job shop scheduling. *Parallel Computing*, vol. 29, 2003, p. 393-430.
2. Antczak A., Antczak P., Witkowski T.: Zastosowanie procedury GRASP do harmonogramowania produkcji małoseryjnej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej (s. Automatyka)*, 2006, z. 144, s. 17-22.
3. Binato S. i in.: A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure For Job Shop Scheduling. AT&T Labs Technical Report, 2000, p.1-19.
4. Janiak A.: Wybrane problemy i algorytmy szeregowania zadań i rozdziału zasobów. *Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ*, Warszawa 1999.
5. Satanowskij R.L.: *Metody sniżenija proizwodstwiennyh Potter*. Moskwa 1988.
6. Smutnicki C.: *Algorytmy szeregowania*. *Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT*, Warszawa 2000.
7. Witkowski T.: *Decyzje w zarządzaniu przedsiębiorstwem*. WNT, Warszawa 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bożena Skołod

Abstract

In the paper the influence of process types 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. The results of the computer experiment for the algorithm has been presented. Dependency of makespan vs. coefficient k , utilization of time CPU vs. coefficient k , and makespan vs. time CPU are analyzed.