

Bożena Paluchiewicz
Danuta Rasztabiga
Politechnika Śląska

PRÓBA WYKORZYSTANIA METODY PLANOWANEGO EKSPERYMENTU DO OPTIMALIZACJI ZADANIA BALANSOWANIA LINII MONTAŻOWEJ¹⁾

Streszczenie. W pracy przedstawiono rozwiązanie zadania optymalizacji balansowania linii montażowej ze względu na efektywność algorytmu. Do badań wykorzystano metodę planowanego eksperymentu. W fazie wstępnej rozwiązano zadania dla 8 i 15 operacji. Badania właściwe prowadzone są dla liczby operacji większej od 20. Algorytm, poddany badaniom efektywności, przedstawiony został w [3], a opracowany na podstawie [1].

1. Wstęp

W większości przypadków zagadnień technicznych zadania ekstremalne rozwiązuje się doświadczalnie, znając jedynie częściowo mechanizm zjawiska. Wiąże się to najczęściej z tym, że układy, które mają być optymalizowane, są tak złożone, że nie dadzą się w rozsądnym czasie przestudiować teoretycznie.

Metody doświadczalnego poszukiwania warunków optymalnych przebiegu procesów przez długi czas były niesformalizowane. Eksperymentator wybierał taki lub inny sposób postępowania, opierając się jedynie na własnym doświadczeniu i intuicji. Dopiero od końca lat pięćdziesiątych nastąpił rozwój matematycznej teorii doświadczeń ekstremalnych, która umożliwia wybranie optymalnej metody badania, przy częściowej znajomości procesu. Efektywność tej metody badania jest tym większa, im bardziej złożony jest układ badany.

Metodę planowanego eksperymentu [2] zastosowano do optymalizacji efektywności algorytmu rozwiązania zadania balansowania linii montażowej - model uogólniony.

2. Sformułowanie zadania

W zadaniach balansowania linii montażowej przy zadanym algorytmie obliczeń wpływ na efektywność /szybkość/ algorytmu mają:

¹⁾ Praca była częściowo finansowana przez program R.P.I.02 i CPBR 7.4

1. Parametry obiektu:

- liczba operacji,
- czasy operacji,
- ograniczenia kolejności wykonywania operacji,
- cykl.

2. Parametry algorytmu:

- reguły eliminacji /bez reguł - br, reguła sondowania - rs, reguła dominacji - rd, reguła dominacji i sondowania - r d-s/,
- reguły podziału /narzucone metodą LLB współczynniki etapowe/,
- ograniczenia liczby zadań na poszczególnych etapach.

W wyniku planowanych zmian parametrów algorytmu należy znaleźć takie ich wartości, aby czas obliczeń był minimalny. Jest to jedno z możliwych do rozwiązania zadań. Można starać się odpowiedzieć nie tylko na pytanie o wpływ parametrów algorytmu, ale także o wpływ parametrów obiektu na efektywność algorytmu. Badania te pozwalają odpowiedzieć np. na pytanie która reguła eliminacji jest najbardziej efektywna dla liczby operacji z zadanego przedziału liczb.

3. Wybór zmiennych i zmian ich poziomów

Generalnie w rozwiązywaniu zadania balansowania linii montażowej parametry obiektu przyjmuje się za stałe.

Badany jest wpływ na czas obliczeń reguł eliminacji, reguły podziału LLB przez uwzględnienie współczynników etapowych oraz ograniczenia liczby stanów na etapach.

Zmiany współczynników etapowych i ograniczenia liczby stanów na etapach mogą być realizowane wg schematu: - wartości narastające (\triangleleft),
 - wartości malejące (\triangleright),
 - wartości stałe, (—),
 - wartości narastające, a następnie malejące. (\diamond).

4. Planowany eksperyment i analiza wyników

Planowany eksperyment jest to organizacja doświadczeń wg jakiegoś wcześniej określonego schematu mającego pewne optymalne własności.

Celem planowania eksperymentów jest otrzymanie jak największej liczby informacji o obiekcie przy mniejszych stratach, niż można otrzymać metodami tradycyjnymi.

W badaniach proponuje się wykorzystanie planu typu 2^N całkowitego

doświadczenia czynnikowego. Całkowitym doświadczeniem czynnikowym nazywamy doświadczenie realizujące wszystkie możliwe kombinacje bez powtórzeń poziomów zmiennych niezależnych, z których każda może być zmieniana na dwóch poziomach. Macierz planu 2^n spełnia warunki:

- symetrii doświadczeń względem środka eksperymentu,
- ortogonalności,
- równości sum kwadratów we wszystkich kolumnach macierzy eksperymentu i w związku z tym planowanie jest optymalne.

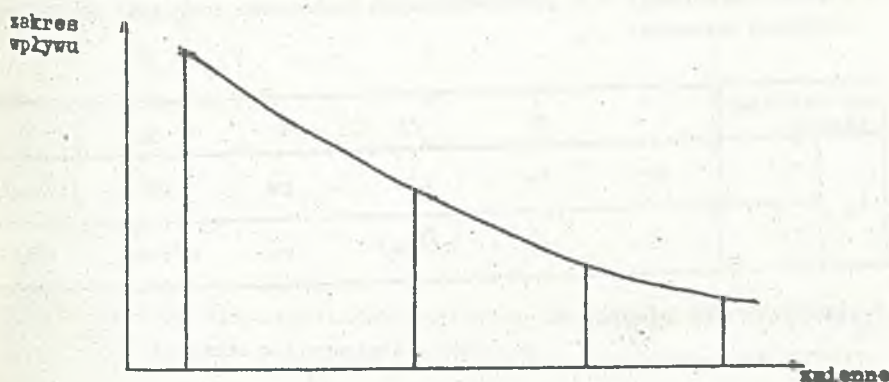
Do analizy otrzymanych wyników w przypadku wykorzystania planu typu 2^n proponuje się zastosować metodę bilansu losowego.

Istotę metody bilansu losowego można sformułować następująco:

- jako miarę oddziaływania poszczególnych zmiennych niezależnych przyjmuje się wariancję oceny wartości funkcji celu /czasu obliczeń/,
- wykonując jak najmniej planowanych doświadczeń, porządkuje się zmienne niezależne wg ich malejącego wpływu,
- zmienne mające mały wpływ na wielkość wyjściową zalicza się do pola szumów.

Ocenę otrzymanych z eksperymentu rezultatów wygodnie jest przeprowadzić za pomocą wykresów dyspersji wyników obserwacji względem poszczególnych zmiennych niezależnych.

Wykres taki powstaje przez naniesienie wyników eksperymentów dla poszczególnych eksperymentów realizowanych na górnym "+" i dolnym "-" poziomie zmian. Następnie obliczane są wartości średnie wyników oddzielnie dla poziomów + i -. Wielkość różnicy między tymi średnimi określa wpływ danej zmiennej na wybraną wielkość wyjściową. Uporządkowane wg wpływu na wielkość wyjściową zmienne tworzą zazwyczaj krzywą wykładniczą przedstawioną na rysunku 1.



Rys. 1. Wykres wpływu zmiennych niezależnych na wielkość wyjściową

Fig. 1. A graph of the relation between an output and independent variables

5. Przykład 1

Badania wstępne - rozpoznawcze wykonano dla zadania o następujących danych:

1) Parametry obiektu

- liczba operacji 8
- czasy operacji w [s] $\Theta = [11, 17, 9, 5, 8, 12, 10, 3]$
- macierz ograniczeń kolejności wykonywania zadania

$$\Gamma = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & & & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & & & & & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 6 & & & & & & 0 & 0 & 1 \\ 7 & & & & & & & 0 & 0 \\ 8 & & & & & & & & 0 \end{array} \end{array}$$

- cykl -

x_1	-	18
	+	30
	baza	20

2) Parametry algorytmu

- reguły eliminacji - w poszczególnych badaniach przyjęto następujące wartości zmiennej x_4

nr doświadczenia		1	2	3	4	5	6
x_4	n^-	br	br	br	rd	rd	$r/d+s/$
	n^+	rs	rd	$r/d+s/$	rs	$r/d+s/$	$r/s/$

- współczynniki etapowe d_i

x_2	-	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
	+	3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3
	baza	2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2

- ograniczenie liczby zadań na poszczególnych etapach

x_3	-	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
	+	1, 2, 2, 3, 1, 2, 3, 2
	baza	1, 1, 2, 2, 1, 1, 2, 1

W związku z wyróżnieniem 4 zmiennych wykonano plan typu 2^4 , którego macierz jest następująca:

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+	-	-	-	-
2	+	+	-	-	-
3	+	-	+	-	-
4	+	+	+	-	-
5	+	-	-	+	-
6	+	+	-	+	-
7	+	-	+	+	-
8	+	+	+	+	-
9	+	-	-	-	+
10	+	+	-	-	+
11	+	-	+	-	+
12	+	+	+	-	+
13	+	-	-	+	+
14	+	+	-	+	+
15	+	-	+	+	+
16	+	+	+	+	+

Badania powtórzono dla wszystkich możliwych kombinacji reguł eliminacji $\binom{4}{2} = 6$ /. Otrzymało następujące rezultaty:

Nr eksperymentu	Czas obliczeń [s]					
	1	2	3	4	5	6
1	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
2	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,38
3	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
4	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
5	1,64	1,64	1,64	1,26	1,26	1,20
6	1,48	1,48	1,48	1,48	1,48	1,53
7	1,48	1,48	1,48	1,53	1,53	1,42
8	1,53	1,53	1,53	1,48	1,48	1,48
9	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
10	0,43	0,43	0,38	0,43	0,38	0,43
11	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
12	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
13	1,26	1,53	1,20	1,53	1,20	1,53
14	1,48	1,48	1,53	1,48	1,53	1,48
15	1,53	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
16	1,48	1,53	1,48	1,53	1,48	1,53

Dla rozwiązań bazowych przy regułach eliminacji:

- br - $t_{obl} = 0,43$ s

- rs - $t_{obl} = 0,49$ s

- rd - $t_{obl} = 0,60$ s

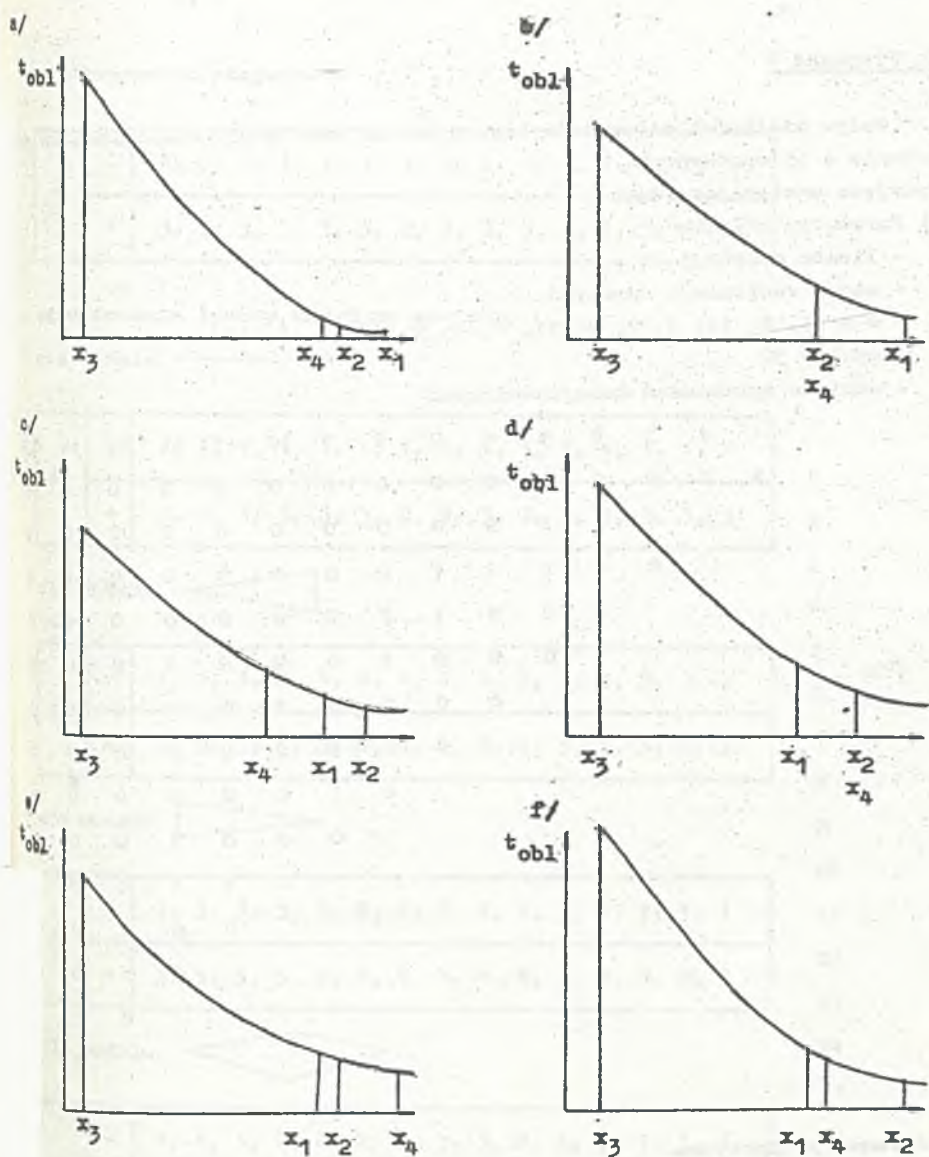
- r/d+s/ - $t_{obl} = 0,60$ s

Wpływ zmiennych niezależnych dla poszczególnych eksperymentów przedstawia rys. 2.

Jak wynika z przeprowadzonej analizy, największy wpływ na efektywność algorytmu ma ograniczenie liczby zadań na poszczególnych etapach. Pozostałe czynniki mają zdecydowanie mniejszy wpływ. Najbardziej efektywne okazało się badanie dla następującego zestawu zmiennych / $t_{obl} = 0,38$ s /
 - cykl = 30, $\Delta = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$, ograniczenia liczby zadań:
 $= [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$, reguła dominacji + sondowania.

Przeprowadzone badania dla innego zestawu zmiennych potwierdziły dominację wpływu ograniczenia liczby zadań na poszczególnych etapach.

Oprócz czasów obliczeń na wydrukach badań rejestrowane są czasy zakończenia zadań i realizacji zadań.



Rys.2. Wykresy wpływu zmiennych niezależnych $x_1 + x_4$ na czas obliczeń dla poszczególnych eksperymentów

Fig.2. Graphs of the computation time in function of independent variables $x_1 + x_4$ in experiments

6. Przykład 2

Wpływ wielkości parametrów algorytmu na jego efektywność zbadano dla zadania o 15 operacjach.

Przyjęto następujące dane:

1) Parametry obiektu

- liczba operacji 15

- czasy realizacji operacji

$$\Theta = [5, 8, 10, 3, 7, 4, 11, 2, 4, 9, 12, 8, 1, 12]$$

- cykl = 30

- macierz ograniczeń kolejnościowych

$$P = \begin{array}{cccccccccccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 & 13 & 14 & 15 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & & & & & & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & & & & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & & & & & & & & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 9 & & & & & & & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & & & & & & & & & & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 11 & & & & & & & & & & & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 12 & & & & & & & & & & & & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 13 & & & & & & & & & & & & & 0 & 1 & 1 \\ 14 & & & & & & & & & & & & & & 0 & 1 \\ 15 & & & & & & & & & & & & & & & 0 \end{array}$$

2) Parametry algorytmu

- reguły eliminacji

		1	2	3	4	5	6
\bar{z}_3	-	br	rd	rs	br	rd	rs
	+	rd	rs	br	r/d+s/	r/d+s/	r/d+s/

współczynniki etapowe d

x_1	-	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
	+	3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3

- ograniczenia liczby zadań na etapach

dla modelu 

x_2	-	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1
	+	3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3

dla modelu 

x_2	-	1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3
	+	3, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 5, 5

dla modelu 

x_2	-	3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 1, 1
	+	5, 5, 5, 5, 5, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 3, 3, 3, 3, 3

dla modelu 

x_2	-	1, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 1, 1, 1
	+	3, 3, 3, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 4, 4, 4, 3, 3, 3

Zastosowano plan eksperymentu typu 2^3 . Badania wykonano dla każdego z modeli ograniczenia liczby zadań na etapach.

Przykładowe rezultaty x_1 , x_2 , - br, + rd

	x_0	x_1	x_2	x_3	$t_{obl} [s]$	Rozwiązanie
1	+	-	-	-	1,86	$\left\{ \begin{array}{l} [5, 13, 23, 75, 37, 41, 86, 43, 94, \\ 52, 72, 102, 105, 106, 118] \end{array} \right.$
2	+	+	-	-	1,86	
3	+	-	+	-	230,90	$\left\{ \begin{array}{l} [5, 13, 40, 25, 20, 59, 51, 22, 55, \\ 69, 89, 77, 93, 94, 106] \end{array} \right.$
4	+	+	+	-	223,27	
5	+	-	-	+	118,52	$\left\{ \begin{array}{l} [5, 13, 23, 75, 37, 41, 86, 43, 94, \\ 52, 72, 102, 105, 106, 118] \end{array} \right.$
6	+	+	-	+	121,44	
7	+	-	+	+	218,16	$\left\{ \begin{array}{l} [5, 13, 40, 25, 20, 59, 51, 22, 55, \\ 69, 89, 77, 93, 94, 106] \end{array} \right.$
8	+	+	+	+	224,42	

Po przeprowadzeniu analizy wpływu zmiennych stwierdzono, że w tym przypadku dominujący jest wpływ ograniczeń liczby zadań /163,26/, znacznie mniejszy reguły eliminacji /56,16/, pomijalny - współczynników etapowych /0,38/.

Najkrótszy czas obliczeń 1.20 s uzyskano w przypadku przyjęcia wartości współczynników d i ograniczeń liczby zadań na stałym poziomie. Bez względu na przyjętą regułę eliminacji i wartość ograniczenia liczby stanów, współczynniki etapowe muszą mieć wartość $[1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1]$. Tym samym największy wpływ na czas obliczeń ma wybór współczynników d .

Najgorszą efektywność ma algorytm dla zmiany: współczynniki etapowe - stałe; ograniczenia liczby stanów - narastające. Minimalny czas obliczeń w tym przypadku wynosi 217,88 s, a dominacja wpływu poszczególnych czynników zmienia się w zależności od poziomu zmian reguły eliminacji.

7. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań można określić jakościowe zmiany wpływu parametrów algorytmu na efektywność algorytmu. Spośród dużej liczby uzyskanych informacji w pracy przedstawiono tylko niektóre wnioski. Nadal trwają badania dla liczby operacji większej od 20 i po ich wykonaniu można będzie pokusić się o wyciągnięcie bardziej ogólnych wniosków.

Zastosowanie planowanego eksperymentu pozwoliło zminimalizować liczbę eksperymentów i efektywnie prowadzić analizę wyników.

LITERATURA

- [1] Marecki F.: Modele matematyczne i algorytmy alokacji operacji i zasobów na linii montażowej. ZN Pol. Śl. s. Automatyka z.82, Gliwice 1986.
- [2] Naliwów W.W., Czernowa N.A.: Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych. WNT, Warszawa 1967.
- [3] Praca zbiorowa: Metodyka, modelowanie i optymalizacja sterowania procesami montażu na liniach z uwzględnieniem diagnostyki i kontroli międzyoperacyjnej. Raport z pracy n-b, Instytut Automatyki Gliwice 1987 /nie publikowane/.
- [4] Kasprzyński B.: Planowanie eksperymentów. Podstawy matematyczne. WNT, Warszawa 1974.
- [5] Mańczak K.: Technika planowania eksperymentu. WNT, Warszawa 1974.

Recenzent: Prof. dr h.inż. S. Piasecki

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30

ПОИСКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ПЛАНОВОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧИ БАЛАНСИРОВАНИЯ МОНТАЖНОЙ ЛИНИИ

Резюме

В работе дано решение задачи оптимизации балансирования монтажной линии с учётом эффективности алгоритма. Для исследований использован метод планового эксперимента. В начальном этапе задача решена для 8 и 15 операций. Обстоятельные исследования ведены для числа операций больше 20. Исследования эффективности алгоритма находятся в [3] а его разработка — на основании [1].

AN APPLICATION OF EXPERIMENTS PLANNING TECHNIQUE TO OPTIMIZATION OF BALANCING TASK FOR ASSEMBLY LINE

Summary

A problem of optimization task solution for balancing of an assembly line taking algorithm efficiency is presented. In the introductory phase the tasks for 8 and 15 operations are solved. The proper investigations are performed for the number of operations greater than 20.