ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1992
Seria: AUTOMATYKA z. 109 Nr kol. 1175

Zdzisław Hajducki, Juliusz Mrozowicz
Instytut Budownictwa Politechniki Wrocławskiej

HARMONOGRAMOWANIE PRACY BRYGAD ROBOCZYCH Z WYKORZYSTANIEM METODY RÓWNOLEGŁO-POTOKOWEJ

SCHEDULING OF THE WORKING GANG JOBS BY MEANS OF THE PARALLEL - STREAM METHOD

КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ БРИГАД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОТОЧНОГО МЕТОДА

Streszczenie: W artykule przedstawiono algorytm harmonogramowania pracy brygad roboczych z uwzględnieniem równoległej pracy wielu brygad jednej specjalności.

Summary: The algorithm of the scheduling of the working-gang jobs into account parallel job of many gangs of the same specialization is presented in the paper.

Резюме: В статье представлен алгоритм календарного планирования работы бригад с учетом параллельной работы многих бригад одной специальности.

1. Wstęp

Metody równoległo-potokowe są rozwinięciem klasycznych metod potokowych, w celu lepszego odwzorowania procesów technologicznych w realizowanych kompleksach robót budowlanych, w których niektóre częściowe potoki wyróżniają się znaczną długotrwałością robót. Umożliwiają one synchronizację robót, po wprowadzeniu do tych częściowych potoków o najdłuższych czasach realizacji kilku brygad jednej specjalności.

Wyróżnia się, analogicznie jak w klasycznych metodach potokowych, pięć metod równoległo-potokowych:

1. metodę z ciągłym wykorzystaniem środków realizacji,
2. metodę z ciągłym prowadzeniem robót na frontach roboczych,
3. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji i frontami roboczymi,
4. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji, frontami roboczymi i sprzężeń diagonalnych,
5. metodę z równoczesnym uwzględnieniem sprzężeń między środkami realizacji, frontami roboczymi i odwrotnych sprzężeń diagonalnych.

Synchronizację robót z wykorzystaniem wymienionych powyżej metod przeprowadzamy w dwu kolejnych krokach. Określamy racjonalną kolejność prowadzenia robót na poszczególnych frontach (obiektach), następnie wyznaczamy charakterystyki czasowe nierytmicznego potoku dla każdej z metod.

W referacie przedstawiono algorytm ustalania kolejności robót, z zastosowaniem minimalnego czasowego kryterium, dla jednej z metod, z ciągłym wykorzystaniem środków realizacji.

Podstawowe pojęcia, definicje oraz niektóre zagadnienia dotyczące omawianej problematyki zostały przedstawione między innymi w [1, 2, 3, 4].

2. Metoda z ciągłym wykorzystaniem środków realizacji

Podstawowe założenie tej metody, to zapewnienie ciągłości pracy brygad roboczych i sprzętu. Zachowany zostaje warunek ciągłości pracy w częściowych potokach. Dla metody równoległo-potokowej opracowano sposób budowy macierzy wyjściowej uwzględniającej jej specyfikę.

Stosowane są następujące zasady:
- wprowadzenie do każdego częściowego potoku brygady danej specjalności aż do pełnego skompletowania (pozostające brygady wykorzystuje się, wprowadzając je jako równoległe do odpowiednich częściowych potoków);
- ustalenie składu i liczby dodatkowych brygad jednej specjalności przyjmując założenie zbliżonego czasu wykonania poszczególnych rodzajów robót;
- wprowadzenia w pierwszej kolejności dodatkowych brygad jednej specjalności do wykonywania najbardziej długotrwałych robót w potokach w ilości pozwalającej na wykonanie kompleksu robót w planowanym terminie;
- wprowadzenia dodatkowych brygad jednej specjalności do wykonywania najbardziej długotrwałych robót krytycznych;
- wprowadzenie do potoku całego stanu ilościowego brygad jednej specjalności, jeżeli ich liczba nie przekracza ilości frontów roboczych.

W metodach równoległo-potokowych, przyjmuje się, że każda z brygad porusza się po swoich frontach roboczych, według własnej drogi ruchu, różnej od dróg innych brygad. Drogi ruchu brygad mogą być spowodowane określonymi względami technicznymi lub technologicznymi. Stwierdzono na podstawie doświadczeń, że najlepsze wyniki otrzymuje się stosując zasadę obciążenia pracą w pierwszej kolejności brygad o największych możliwościach wykonawczych.

Częściowe potoki w macierzy wyjściowej dzielimy na równoległe potoki szczegółowe poprzez wprowadzenie dodatkowych brygad jednakowej specjalności. Następnie korzystamy z założenia maksymalnego zbliżenia między sobą, tak potoków częściowych, jak i szczegółowych. Podstawowym problemem do rozwiązania jest wyznaczenie terminów rozpoczęcia robót w kolejnych częściowych i szczegółowych potokach.

Procedura wyznaczania podstawowych danych do harmonogramowania robót polega na przyjęciu maksymalnych wartości z różnic między terminami zakończenia robót w poprzedzających rodzajach robót a sumą czasów trwania realizacji robót na poprzedzających frontach w ustalonym porządku. Przeprowadzenie tych operacji wymaga następujących założeń: przyjęcie dla pierwszego częściowego lub pierwszych szczegółowych potoków terminu rozpoczęcia równego zero oraz utworzenie dla następnych częściowych lub szczegółowych potoków zbioru frontów, na których wykonywane są roboty danego rodzaju prac przez daną brygadę.

Kolejność czynności przy wyznaczaniu terminów rozpoczęcia i zakończenia robót:
- dla pierwszego częściowego potoku ustala się terminy wejścia brygad jednej specjalności na plac budowy jako równe zero;
- wyznacza się terminy rozpoczęcia i zakończenia robót na kolejnych frontach z uwzględnieniem zerowych sprzężeń między środkami realizacji;
- korzystając z terminów zakończenia robót obliczonych dla pierwszego częściowego potoku, wyznacza się terminy rozpoczęcia dla następnych częściowych lub szczegółowych potoków;

- pozostałe terminy rozpoczęcia i zakończenia robót w następnych częściowych czy szczegółowych potokach na kolejnych frontach wyznaczamy uwzględniając zerowe sprzężenia między środkami realizacji.

3. Algorytm macierzowego wyznaczania racjonalnej kolejności prowadzenia robót

Etap I

W miejsce pierwszego wiersza wprowadza się kolejno wszystkie wiersze macierzy. Dla tak ustalonych wierszy oblicza się "granicznie możliwe minumum" GMM korzystając ze zmodyfikowanego algorytmu Johnsona. Buduje się drzewo wariantów, opisując węzły obliczonymi wartościami GMM. Rozwija się te węzły, w których wartość GMM jest najmniejsza.

Etap II

W miejsce drugiego i następnych wierszy ustala się pozostałe nie ustalone wiersze macierzy. Wyznacza się wartości GMM dla budowanych macierzy pośrednich. Rozwija się gałęzie drewna wariantów z węzłów, w których wartości GMM są najmniejsze.

Etap III

Jest to etap końcowy, w którym ustalono w macierzy położenie n-2 wierszy; następuje przestawienie tylko pozostałych dwu wierszy. Przechodzi się od macierzy pomocniczych do realnych, dla których wyznacza się czas realizacji kompleksu robót.

W równoległo-potokowych metodach organizacji budujemy drzewo wariantów, które podczas prowadzenia obliczeń pomocniczych wskazuje nam, które gałęzie drzewa należy rozwijać dalej. Funkcja celu może w naszym przypadku być typu czasowego, kosztowo-czasowego i kosztowego.

Ze względu na konieczność dokonywania różnych przekształceń macierzy na pośrednich etapach nie jest możliwe operowanie czasem realizacji kompleksu jako funkcją celu. Przekształcenia te można prowadzić po przyjęciu pomocniczego wskaźnika w miejsce realnego czasu realizacji. Wskaźnik ten nazwano "granicznie możliwe minimum".

Obliczenie "granicznie możliwego minimum" (GMM) polega na odpowiednim wykorzystaniu algorytmu Johnsona, dla wielu częściowych potoków. W macierzach kompleksu robót ilość częściowych potoków nie jest ograniczona, a w praktyce może wynosić kilkanaście. Algorytm ten został odpowiednio zastosowany, aby można było rozwiązać zagadnienie kolejnościowe dla tak dużej ilości częściowych i szczegółowych potoków.

Wprowadzając podział wybranych częściowych potoków na potoki szczegółowe, do dalszego obliczenia GMM przyjmujemy maksymalne wartości czasów rozwinięcia.

Przed przystąpieniem do badania drzewa wariantów należy obliczyć kolejno macierze pomocnicze:

$B(j,s,t)$, $j = 1,\dots,(m-1)$, $s = 1,\dots,r_j$, $t = 1,\dots,r_{j+1}$,

gdzie: r_j - ilość brygad realizujących rodzaj roboty j.

Macierz $B(j,s,t)$ powstaje przez zastosowanie algorytmu podstawowego dla macierzy danych A złożonej z kolumn o numerach (j,s), $(j+1, t)$.

$$A = [t_{i,k}] \qquad i = 1,\dots, n$$
$$k = (j,s), (j+1, t)$$

gdzie: (j,s) - oznacza kolumnę odpowiadającą s-tej brygadzie spośród j-tego rodzaju robót.

Dla każdej macierzy $B(j,s,t)$ wyznaczamy $t^r_{j,s,t}$ - okres rozwinięcia pomiędzy j-tym a $(j+1)$ rodzajem robót realizowanym przez brygady o numerach s i t, co przeprowadza się w sposób standardowy.

GMM wyznaczamy z zależności:

$$GMM = \max_{\substack{s = 1,\dots, r_{m-1} \\ t = 1,\dots, r_m}} \left[t^r_{m-1,\, s,t} + S_t \right] + \sum_{j=1}^{m-2} \max_{\substack{s = 1,\dots, r_j \\ t = 1,\dots, r_{j+1}}} \left(t^r_{j,s,t} \right)$$

4. Zastosowanie algorytmu do planowania realizacji kompleksu obiektów budowlanych

Zaplanowana została realizacja czterech obiektów budowlanych. Przewidywane do wykonania roboty scalono w cztery ciągi organizacyjne, przy czym realizacja pierwszego i czwartego rodzaju robót odbywać się będzie dwoma równoległymi częściowymi potokami.

Dane wyjściowe przedstawione są w tabeli - macierzy, elementami której są czasy wykonania poszczególnych rodzajów robót przez brygady na obiektach.

Macierz wyjściowa

OBIEKTY	CZĘŚCIOWE POTOKI					
	1_1	1_2	2	3	4_1	4_2
1		0 14 14	14 8 22	23 4 27		47 6 53
2	0 12 12		22 5 27	27 11 38	39 8 47	
3	12 5 17		27 4 31	38 9 47	47 5 52	
4		14 10 24	31 7 38	47 6 53		53 12 65

Dla wyjściowej kolejności realizacji obiektów 1-2-3-4 przewidywany czas realizacji kompleksu wynosi 65 jednostek.

Podwójna macierze pomocnicze

Etap I

		1_1	2		1_2	2		2	3		3	4_1		3	4_2
	1		8		14	8		8	4		4			4	6
			7			5		4	9		11	8		6	12
		12	5			4		5	11		9	5		9	
Wskaźnik GMM = 52		5	4		10	7		7	6		6			11	

		1_1	2		1_2	2		2	3		3	4_1		3	4_2
	2	12	5			5		5	11		11	8		11	
			8			4		4	9		9	5		4	6
			7		14	8		7	6		6			6	12
Wskaźnik GMM = 50		5	4		10	7		8	4		4			9	

Podobnie w miejsce pierwszego wiersza wprowadzamy kolejno wiersz Nr 3 i 4.

Wartości wskaźników charakteryzujących węzły drzewa wariantów na pierwszym poziomie wynoszą odpowiednio 42 i 48 jednostek.

Etap II

Wprowadzone zostają jako ustalone dodatkowe wiersze macierzy

		1_1	2		1_2	2		2	3		3_1	4		3_2	4
	3	5	4			4		4	9		9	5		9	
	1		8		14	8		8	4		4			4	6
Wskaźnik GMM = 46			7			7		5	11		11	8		6	12
		12	5		10	5		7	6		6			11	

		1_1	2		1_2	2		2	3		3_1	4		3_2	4
	3	5	4			4		4	9		9	5		9	
	2	12	5			5		5	11		11	8		11	
Wskaźnik GMM = 59			8		14	8		7	6		6			4	6
			7		10	7		8	4		4			6	12

		1_1	2		1_2	2		2	3		3	4_1		3	4_2
	3	5	4			4		4	9		9	5		9	
	4		7		10	7		7	6		6			6	12
Wskaźnik GMM = 45			8			5		5	11		11	8		4	12
		12	5		14	8		8	4		4			11	

Etap III

	1_1	1_2	2	3	4_1	4_2
3	0 5 5		13 4 17	18 9 27	43 5 48	
4		0 10 10	17 7 24	27 6 33		33 12 45
1		10 14 24	24 8 32	33 4 37		45 6 51
2	5 12 17		32 5 37	37 11 48	48 8 56	

	1_1	1_2	2	3	4_1	4_2
3	0 5 5		8 4 12	12 9 21	33 5 38	
4		0 10 10	12 7 19	21 6 27		30 12 42
2	5 12 17		19 5 24	27 11 38	38 8 46	
1		10 14 24	24 8 32	38 4 42		42 6 48

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano efekt w postaci skrócenia czasu realizacji kompleksu obiektów z 65 jednostek do 48. Nowa kolejność realizacji: 3-4-2-1.

LITERATURA

[1] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Zagadnienie synchronizacji kompleksów robót budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka z. 95, Gliwice 1988, s. 79-85.

[2] Hejducki Z., Mrozowicz J.: Ustalenie kolejności w zbiorze potoków obejmujących kompleks obiektów budowlanych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Automatyka, z. 85, Gliwice 1986, s. 85-93.

[3] Mrozowicz J.: Metody potokowe organizacji robót budowlanych o charakterze deterministycznym. W P Wr, Wrocław 1982.

[4] Afanasjev V.A., Afanasjev A.V.: Projektirovavanije organizacji stroitelstva, Organizacji i Proizwodstva rabot. Leningrad 1988. LISI.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski
Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

Abstract:

The algorithm of complexes of contruction work timing, exercising the flow methods of organization is presented in this paper. This issue frequently appears in constructing practice during the realisation of rebuilding and constructing works, where the single fragmentary longest time of realisation flows can be spotted. The planning algorithm of non-collision work of few the same speciality gangs of workers, with regard to specificity of flow methods, is here proposed.

In elaborated procedure of graphic schedule making the condition of gangs continuity of work was taken into consideration by introduction of zero-couplings between the means of realisation. The work synchronization is performed with bringing the minimal time-consuming criterion into practice, which makes possible the rational, well planned utilization of gangs of workers.

In the process of establishing the proper sequence of works the Branch and Bound methods was exercised.