

Abordarea problemei de echilibrare prin metode euristice

Lect. Cristina COCULESCU
Universitatea Româno-Americană București

Since the balancing problem is known to be computationally difficult, exact solution of large problems will often require an inordinate amount of time. In such cases, it may be more appropriate to use a heuristic or an approximate method. Even if the problem is not very large, a good heuristic solution can be used to reduce the number of integer variables in the integer programming formulation and give an initial incumbent solution for the branch-and-bound method. This article deals with the RPW heuristic for a single sample and for deterministic manufacture times. After a summary of the heuristic method and the reason for their usage, the author presents an example.

Keywords: task, positional weight, processing time, cycle time, workstation.

Din studiile experimentale efectuate până în prezent, rezulta ca metodele euristice, desi nu garanteaza optimalitatea solutiilor oferite, constituie singurul mijloc practic de abordare a echilibrării, cel puțin din următoarele motive:

- ofera solutii apropiate de optim si în multe cazuri chiar optime;
- cerintele de timp de calcul si memorie calculator sunt rezonabile;
- au o mare flexibilitate în privinta includerii unor noi restrictii ale problemei de echilibrare.

Metodele euristice pot fi cu usurinta proiectate pentru a fi interactive. Modul de lucru interactiv permite factorului uman sa intervina direct în toate etapele elaborării solutiilor, facilitând astfel aplicarea unor criterii subiective, greu de modelat matematic sau a unor euristici ce provin din experienta personala a tehnologului si care pot fi rezultate ale intuiției.

Este de mentionat totusi faptul ca atunci când se doreste obtinerea de solutii a caror optimalitate sa fie garantata, metodele exacte ramân singurele disponibile, timpul de calcul aparând ca un pret al optimalității. Nu este lipsit de interes faptul ca în contextul perfectionării continue a calculatoarelor, în special relativ la viteza de calcul si la înglobarea unor posibilitati ce permit procesarea paralela, acest pret devine din ce în ce mai mic. Cu toate acestea, metodele euristice constituie o abordare realista si satisfacatoare, în general din

punct de vedere practic, a echilibrării liniilor tehnologice.

Calitatea soluției obtinute printr-o metoda euristica poate fi apreciata prin compararea solutiei cu o margine inferioara a numarului de statii de lucru. Pentru problema echilibrării unei linii tehnologice de asamblare, o margine inferioara simpla a numarului de statii de lucru poate fi calculata prin împartirea timpului total de operare la ritmul de functionare al

liniei: $L_{inf} = \frac{\sum_{j=1}^N t_j}{R}$, unde: N = numarul fazelor

de lucru ale procesului tehnologic supus echilibrării; t_j $_{j=1,N}$ = vectorul timpilor de executie ai fazelor; R = ritmul de functionare a liniei

Vom prezenta în continuare *metoda ponderilor pozitionale* pentru rezolvarea problemei de echilibrare a unei linii tehnologice pe care se assembleaza un singur model al unui produs, timpii de executie ai fazelor sunt deterministi, iar ritmul de functionare al liniei este fixat.

Ideea care sta la baza acestei metode euristice este asignarea la statii de lucru mai întâi a fazelor care au un sir lung de faze succesoare (altfel spus, fazele care au cel mai mic numar de faze direct precedente). Relatiile de precedenta dintre fazele procesului tehnologic împreuna cu fazele însesi, formeaza un digraf aciclic si sunt determinate de caracteristicile procesului, precum si de fluxul tehnologic.

Pentru o faza de lucru, lungimea sirului faze-

lor succesoare poate fi determinata fie prin numarul fazelor succesoare, fie prin suma timpilor de executie ai fazelor succesoare. Vom defini *ponderea pozitionala a unei faze* ca fiind suma timpilor de executie ai fazelor succesoare fazei respective. Initial fazele vor fi aranjate în ordinea descrescatoare a ponderilor pozitionale. Din punct de vedere tehnologic, ponderea pozitionala a unei faze reprezinta o masura a complexitatii ansamblului de faze format din faza respectiva si fazele care o succed direct sau indirect. Faptul ca asignarea se va face în ordinea descrescatoare a ponderilor pozitionale, reflecta preferinta tehnologilor (preferinta bazata pe o bogata experienta în echilibrarea liniilor tehnologice) de a amplasa la începutul liniei fazele cele mai complexe.

Fazele sunt atunci selectate în ordinea lor de aranjare si asignate la statii de lucru daca toti predecesorii fazei respective au fost deja asignati si timpul de executie al fazei ce urmeaza a fi asignata este mai mic sau egal cu timpul ramas neutilizat în statia la care va fi asignata. Reamintim faptul ca timpul maxim de executie din fiecare statie de lucru este egal cu ritmul de functionare al liniei tehnologice.

Daca timpul de executie al fazei ce urmeaza a fi asignata la o anumita statie de lucru este mai mare decât timpul ramas neutilizat din statia respectiva, atunci faza este omisa (sarita) si este selectata urmatoarea faza, în ordinea aranjarii lor. Daca nici una din fazele neasignate nu se potriveste în statia respectiva, atunci statia de lucru este închisa si se creeaza o noua statie de lucru. Fazele sunt atunci scanate de la începutul listei si se încearca asignarea la noua statie de lucru a fazelor neasignate înca. Procesul se repeta pâna când toate fazele sunt asignate la statii de lucru.

Vom nota cu S_j multimea tuturor fazelor care sunt succesoare fazei j . Ponderea pozitionala a fazei j este atunci data de: $PW_j = t_j + \sum_{i \in S_j} t_i$.

Aranjam fazele în *ordinea descrescatoare a ponderilor pozitionale*. Un predecesor al unei faze va fi aranjat înaintea fazei însasi. În acest sens, ponderea pozitionala conserva (pastreaza) ordinea partiala impusa prin gra-

ful relatiilor de precedenta. Pentru usurinta, vom presupune ca numarul fazei coincide cu pozitia ei în succesiunea fazelor. Daca nu este asa întotdeauna, renumerotam fazele. În plus, definim urmatoarele: A = multimea fazelor asignate; W_j = statia de lucru la care a fost asignata faza j ; C_k = capacitatea neasignata a statiei k (adica timpul ramas neutilizat în statia respectiva).

Algoritmul este urmatorul:

```
Initialization:
    k=1 ; Ck=C ; j=1
Repeat:
    If
        1. j ∉ A ; and (daca faza este neasignata)
        2. for all i ∈ pj, i ∈ A ; and (daca toti predecesorii au fost asignati)
        3. tj ≤ Ck, then (daca faza convine statiei)
            wj = k ; A=A+{j} ; Ck = Ck - tj
            (asignam faza la statie)
        else
            j=j+1 (trec la alta faza)
    endif
    if j>N then
        k=k+1 ; Ck=C ; j=1 (daca nici o faza nu convine, deschidem o statie noua)
    endif
Go to Repeat
```

Exemplu: Consideram exemplul problemei de echilibrare a unui proces tehnologic compus din 10 faze si presupunem un ritm $R=125$ unitati de timp. Tabelul 1 arata, pentru fiecare faza, multimea succesorilor, timpul de executie (exprimat în unitati de timp) si ponderea pozitionala. Notam ca fazele sunt renumerotate în ordinea descrescatoare a ponderilor pozitionale.

Aplicând algoritmul prezentat anterior, folosind fazele numerotate în ordinea descrescatoare a ponderilor pozitionale (numerele noi), obținem:

1. Statia 1. Asignam faza 1 la statia 1. Timpul ramas neutilizat în statia 1 este 50. Fazele de pe pozitiile 2 si 3 nu convin (timpii lor de executie sunt mai mari decât timpul ramas neutilizat în statia 1). Fazele de pe pozitiile 4, 5 si 6 nu pot fi asignate deoarece predecesorii lor nu au fost toti asignati. Faza cu numarul 7 convine, deci va fi asignata la statia 1. Timpul ramas neutilizat este acum 12,5. Fazele 8, 9 si 10 au timpii de executie (fiecare) mai mari ca 12,5. Deschidem o noua statie.

2. Statia 2. Faza 1 a fost asignata. Faza 2 este posibilă si se potrivește, deci va fi asignata. Timpul ramas neutilizat este 37,5.

Faza 3 nu se potrivește. Faza de pe poziția 4 este posibilă și se potrivește, deci va fi asignată. Timpul ramas este 12,5. Fazele 5 și 6 nu sunt posibile. Faza 7 este deja asignată.

Faza de pe poziția 8 nu este posibilă. Faza 9 este posibilă și se potrivește, deci va fi asignată. Timpul ramas neutilizat în această stație este 0. Deschidem o nouă stație.

Tabelul 1. Parametrii procesului de echilibrare

Numarul vechi	Timpul de executie	S_j (folosind numarul vechi)	PW_j (ponderea pozitionala)	Numarul nou (pozitia)
1	75	2,3,4,5,6,7,8,9,10	412,5	1
2	62,5	3,4,5,10	175	3
3	25	4,5,10	112,5	5
4	37,5	5,10	87,5	6
5	25	10	50	8
6	87,5	7,8,10,4,5	212,5	2
7	25	8,10,4,5	125	4
8	12,5	10	37,5	9
9	37,5	8,10	75	7
10	25	-	25	10

3. Statia 3. Fazele 1 și 2 sunt deja asignate. Faza 3 este posibilă și se potrivește, deci va fi asignată. Timpul ramas neutilizat este 62,5. Faza de pe poziția 4 este asignată deja. Fazele 5 și 6 sunt posibile și se potrivesc, deci vor fi asignate. Timpul ramas neutilizat este 0. Deschidem o nouă stație.

4. Statia 4. Fazele de pe pozițiile 1 până la 7 au fost deja asignate. Faza 8 este posibilă și convine, deci va fi asignată. Timpul ramas neutilizat este 100. Faza 9 a fost deja asignată. Faza 10 este posibilă și se potrivește, deci va fi asignată.

Toate fazele au fost astfel asignate la stații de lucru. Deci algoritmul se oprește.

Solutia finala (folosind numerele noi ale fazelor) arata astfel:

Statia 1={1,7}, Statia 2={2,4,9}, Statia 3={3,5,6}, Statia 4={8,10}.

Revenind la numerotarea initiala a fazelor, solutia finala este:

Statia 1={1,9}, Statia 2={6,7,8}, Statia 3={2,3,4}, Statia 4={5,10}

Bibliografie

- ARCUS, A. L., *A computer method of sequencing operations for assembly lines*, New-York, 1966
- CIOBANU, Gh., *A branch and bound algorithm to solve an assembly line balancing*

problem, Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research, 4, 1977

3. CIOBANU, Gh., NICA, V., MUSTATA, F., MARACINE, V., *Cercetari operationale cu aplicatii în economie*, Editura Matrix Rom, Bucuresti, 1996

4. HARTULARI, C., *Un algoritm euristic pentru echilibrarea liniilor de asamblare*, Studii și cercetari de calcul economic și cibernetică economică, 3, 1980, pag. 74-79

5. HELGERSON, W. P., BIRNIE, D. P., *Assembly line balancing using the ranked positional weight technique*, 1961

6. JACKSON, J. R., *A computing procedure for a line balancing problem*, Management Science, 1956

7. MANSOOR, E. M., *Assembly line balancing-an improvement of the ranked positional technique*, Journal of Industrial Engineering, 1964

8. RUSU, C., BRUDARU, O., *Proiectarea liniilor de fabricatie flexibile*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1990

9. TOMESCU, I., *Probleme de combinato-rica și teoria grafurilor*, Editura Didactica și Pedagogica, Bucuresti, 1981

10. VADUVA, I., STOICA, M., ODAGESCU, I., *Simularea proceselor economice*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1983