

# NOI STRATEGII DE ORDONANȚARE A OPERAȚIILOR ÎN SISTEMELE INTEGRATE DE FABRICAȚIE

ec. Mihaela Popescu

Institutul de Cercetări în Informatică

## Rezumat:

Articolul prezintă o sinteză a celor mai recente abordări ale problemei programării operațiilor în sistemele productive cu fabricație integrată. Este vorba de metoda programării dinamice în două tratări diferite (Svetska și Kusiak), de metoda relaxării resurselor utilizând multiplicatorii Lagrange, de metoda regenerării automate a șirurilor de lucrări și de o metodă integratoare ce reunește avantajele utilizării euristiciilor cu cele ale programării liniare concomitent cu utilizarea unor elemente de sistem expert.

**Cuvinte cheie:** JIT (Just-in-Time), programare dinamică, relaxare Lagrange, reguli de dispecerizare euristici.

Evoluția cercetărilor în domeniul managementului industrial cunoaște etape determinate de tipul și complexitatea problemelor pe care le pune producția industrială, aflată într-o continuă evoluție și perfecționare. Anii 80 au marcat un moment de referință în evoluția sistemelor de fabricație industrială prin apariția și dezvoltarea conceptului de producție industrială integrată pe baza computerului (CIM).

Caracteristica principală a acestor sisteme este funcționarea integrată a fluxului material de producție, asociat unui flux informațional integrat, ce se manifestă în planul conducerii organizației. Dintr-o anumită perspectivă "integrarea" decurge dintr-o corelare între integrarea activităților de concepție, de planificare, de planificare resurse, de asigurare a calității, de fabricație, de control (evident toate acestea asistate de calculator) și integrarea conducerii lor.

Cu toată varietatea de nuanțe, literatura de specialitate pare a conferi unanimitate ideii de ierarhizare a conducerii sistemelor integrate de fabricație, în care se evidențiază:

- o zonă a conducerii globale (superioară), stratificată la rîndul său, în care se regăsesc

activitățile de planificare în funcție de piață, de planificarea resurselor, de asigurarea tehnologiilor etc;

- o zonă a conducerii interne (locală) a nucleelor de fabricație;
- o zonă de interfață între cele două menționate mai sus, de "conducere operativă", cu rol bine determinat, ce decurge din poziția sa în raport cu celelalte zone și care presupune preluarea informației globale de la nivelurile superioare (ce și cît trebuie produs, ce disponibilități există) și transmiterea către nivelul inferior de informații concrete de tipul: ce, cînd și unde se va produce.

Cercetările recente asupra mediului industrial integrat au evidențiat importanța sporită ce trebuie acordată flexibilității producției și timpului de răspuns. Dacă "flexibilitatea" se manifestă ca soluție pentru întrebări de tipul ce, cum și cît trebuie să se producă pentru a asigura economicitatea activității, pentru o folosire optimă a resurselor, timpul de răspuns devine cheia evitării majorității dereglărilor în fluxul productiv și a evitării supraproducției. Timpul de răspuns a devenit astfel temeiul conceptului JIT (Just-In-Time) — cerință indispensabilă în implementarea sistemelor integrate de fabricație. Principiul de bază al JIT este acela că inventarul, incluzînd materii prime, piese, inventar în proces și produse finite, este considerat un dezavantaj, un balast. Dacă materiile prime și piesele pot fi aduse de la furnizori exact la momentul cerut, iar produsele finite livrate exact la datele lor scadente, reducerea inventarului în proces devine o problemă căreia trebuie să i se asigure soluții optime. Una din soluții și cea mai importantă este rezolvarea problemei programării operațiilor, de altfel preocuparea de bază a nivelului conducerii operative, fapt care va asigura, atît o bună utilizare a resurselor, cît și o livrare la timp către clienți a produselor. Multe aspecte ale productivității sînt asociate cu problema programării operațiilor:

- a avea articolele atunci cînd sînt cerute;
- a avea echipamentele disponibile atunci cînd sînt necesare;
- a nu folosi inventar în exces pentru a ascunde vicii de programare;
- flexibilitate și responsabilitate în conducerea nivelului local.

Vechi de peste 30 de ani, preocupările pentru rezolvarea problemei programării au produs numeroase soluții cu grad diferit de optimalitate în paralel cu îmbogățirea și evident complicarea ei. Au fost abordate o varietate de căi, de la exploatarea euristiciilor, programarea liniară, algoritmi bazați pe reguli de dispecerizare și pînă la utilizarea inteligenței artificiale. Anii 90 aduc elemente noi în problema ordonanțării operațiilor, atît în planul analizei, cît și în cel al soluțiilor.

Astfel, Svetska [1] de la universitatea din Cleveland vede în programarea dinamică o metodă puternică prin capacitatea sa de a valorifica cel puțin o parte din informațiile privind statutul atelierului. În programarea dinamică dispecerizarea comenzilor se face cu cîte o operație la un moment dat, ținînd seama de factori ca: existența mașinilor alternative în centrul de mașini, șirurile de comenzi în așteptare la mașini individuale. O programare realistă, operațională, va trebui să ia în calcul resursele cerute (mașini, manoperă, materiale, SDV-uri), relația dintre timpul de pregătire și timpul tehnologic, numărul variabil al mașinilor dintr-o grupă de mașini, criteriile multiple. Va fi necesară, de asemenea, realizarea unei interfețe bazate pe cunoștințe, care permite utilizatorului interpretarea facilă ca și modificarea unui program sau executarea unui scenariu sau al altuia. Odată disponibile, astfel de instrumente vor da posibilitatea studierii interacțiunii dintre diverse reguli de dispecerizare a lucrărilor și al impactului lor asupra performanței criteriilor multiple. O altă întrebare care își va găsi răspunsul este cea a determinării secvenței de lansare a lucrărilor aflate în așteptare. Cele două probleme sînt de fapt corelate, iar soluțiile lor vor avea în vedere o performanță comună ce se va realiza asigurînd premise corecte ca de exemplu: cerințele agregate, necesare lucrărilor de lansat, trebuie să corespundă cu capacitatea dinamică agregată curentă, dînd în același timp prioritate lucrărilor cu data scadentă cea mai apropiată.

Metoda programării dinamice stă și la baza modelului KBSS — Kusiak (89) și a metodei "în două faze" — Chang (88). Kusiak [2] a construit un sistem expert, bazat pe cunoștințe (KBSS), compus dintr-o mașină de inferență, o bază de cunoștințe, o bază de algoritmi și o bază de date în care:

- baza de cunoștințe cuprinde cunoștințe declarative, organizate în "frame"-uri, și cunoștințe procedurale sub formă de reguli de producție;
- mașina de inferență controlează procedura de atragere a regulilor în baza de cunoștințe și

procedura de generare a programelor din algoritm;

- baza de algoritmi are ca element central un algoritm euristic, capabil să facă față unei serii largi de probleme industriale din sistemele integrate de fabricație.

O abordare nouă a problemei programării o oferă Wilfred Huang [3] de la Alfred University (New York), care propune utilizarea multiplicatorilor Lagrange pentru relaxarea resurselor.

Deoarece resursele disponibile pentru procesarea lucrărilor sînt limitate, folosirea multiplicatorilor Lagrange va relaxa resursele finite, iar problema programării va deveni una de programare a resurselor infinite. Funcția obiectiv are în vedere "greutatea" lucrărilor, importanța respectării datei scadente și faptul că o lucrare devine "mai critică" o dată cu fiecare unitate de timp, trecută de la data scadentă. Fiecărei resurse (mașini) i se va asocia un "preț" (multiplicator Lagrange) al utilizării acestei resurse la un anumit moment. Astfel, costul unei lucrări poate fi văzut ca sumă a costului utilizării resursei și penalizarea pentru nerespectarea datei scadente. Costul utilizării resursei va fi mai mare dacă mai multe lucrări concură la ocuparea acelei resurse. Rezolvarea problemei programării presupune exploatarea tuturor variantelor și identificarea celor mai bune costuri ale lucrărilor, ajungîndu-se la o soluție optimală. Această metodă pe care autorii au numit-o "relaxarea Lagrange" furnizează informații privind interacțiunea lucrărilor, informații ce pot fi utilizate pentru a examina efectul adăugării sau eliminării unei mașini pentru o anumită perioadă de timp, al creșterii sau descreșterii timpului de prelucrare a unei lucrări sau al inserării unei lucrări la un anumit moment. Astfel, adăugarea unei mașini, de exemplu, va permite unor lucrări să fie prelucrate mai devreme și, prin propagarea efectului, costul lucrării poate descrește; sau inserarea unei noi lucrări cu un anumit timp de procesare pe o anumită mașină va întîrzia momentul de încheiere al lucrărilor existente, ceea ce va avea urmări, atît asupra costurilor lucrărilor, cît și asupra totalului penalizărilor. Pornind de la aceste informații, autorii propun și o formulă de calcul al momentului optim, în care poate fi inserată o lucrare. Experimentul ce a avut la bază metoda descrisă mai sus a relevat o apropiere cu un procent față de soluția optimă, la un timp rezonabil de prelucrare.

O altă abordare a problemei ordonanțării [4] propune o metodă originală de regenerare a

șirurilor de lucrări pentru medii industriale integrate. Aceasta presupune reținerea comenzilor într-un șir de intrare și lansarea lor în serii mici, după criterii specifice și când sînt înlînite condiții predefinite. Metodologia de ordonanțare începe prin a selecta un set de comenzi din șirul de intrare ținînd seama de aglomerarea de lucrări și de capacitatea de prelucrare. Lucrările din cadrul setului sînt programate printr-o regulă dată de dispecerizare. Acest proces de eliberare a comenzilor din șirul de intrare continuă pînă la epuizarea șirului. Sînt propuse trei metode de "regenerare":

- regenerarea statică - nu se generează un set de noi lucrări pînă nu se termină tot setul anterior;
- regenerarea constant dinamică - generarea secvențelor se face la o perioadă constantă;
- regenerarea continuă dinamică - generarea unui nou set se face la lansarea lucrării care închide ultimul set.

Criteriile de performanță utilizate sînt:

- timpul pe flux ( $F_i$ ),
- timpul maxim pe flux ( $F_{max}$ ),
- nivelul mediu de muncă în proces ( $F_i/F_{max}$ ),
- utilizarea mașinii,
- întîrzierea pozitivă,
- întîrzierea negativă,
- întîrzierea medie,

iar regulile de dispecerizare, asociate acestor criterii de utilizare sînt:

**LPT** (Longest Processing Time) care minimizează timpul pe flux;

**SPT** (Shortest Processing Time) care asigură cea mai bună încărcare a mașinilor și care s-a dovedit cea mai bună în anumite condiții;

**EDD** (Earliest Due Data) care minimizează întîrzierea negativă;

**LST** (Least Slack Remaining) care minimizează atât timpul pe flux cît și întîrzierea medie.

Analizînd eficacitatea și performanțele diferitelor soluții de rezolvare a problemei programării operațiilor, G. Chengalvarayan și S. Parker de la Arkansas University [5] propun o tehnică nouă, integratoare, care reunește trei din aceste metode și anume: programarea liniară, euristiciile și elementele de sistem expert. Avantajele acestei abordări includ reducerea timpului de calcul și îmbunătățirea soluțiilor ce vor deveni mai rapide și flexibile odată cu eliminarea dezavantajelor pe care le prezintă fiecare metodă luată în parte:

- programarea liniară, care pune probleme de timp de răspuns la creșterea volumului de date sau al numărului de restricții;
- euristiciile, care nu garantează optimalitatea soluțiilor;
- sistemele expert, care sînt mari consumatoare de timp de calcul mai ales atunci cînd dimensiunea problemei crește.

În abordarea propusă, soluția finală se obține în trei pași:

1. utilizarea unei euristici în obținerea unei soluții inițiale;
2. segmentarea mulțimii lucrărilor în subgrupe, ținînd seama de restricțiile de prioritate și de secvența lucrărilor în cadrul fiecărei subgrupe; în această fază soluțiile parțiale obținute sînt stocate în baza de date a sistemului expert împreună cu datele asociate și restricțiile. Ținînd seama de faptul că într-o producție industrială numărul de lucrări de executat este finit, după soluționarea citorva cazuri concrete, baza de date va avea deja răspunsuri pentru mai multe probleme, așa micit timpul de răspuns al modelului se va reduce drastic;
3. combinarea soluțiilor dezvoltate pentru fiecare subgrupă pentru a forma secvența finală.

Pentru obținerea soluției inițiale, poate fi utilizată orice euristică disponibilă în practică. Autorii au folosit o extensie a euristicii lui Palmer, aplicată la programarea operațiilor într-un atelier. Algoritmul generează un număr mic de planuri și utilizează un timp de calcul relativ mic. Soluția obținută este disponibilă pentru modificări menite să satisfacă restricțiile de prioritate ale lucrărilor. În acest stadiu, problema poate fi rezolvată printr-o combinație de programare liniară cu metodele sistemului expert. Astfel, soluția euristică este trimisă modulului de sistem expert din model care formează subgrupe de lucrări, astfel încît fiecare subgrupă devine o subproblemă care se rezolvă separat. Numărul maxim de lucrări permise într-o subgrupă este în funcție de numărul de prelucrări și de mașini încorporate în sistem. Timpul de procesare al fiecărei lucrări dintr-o subgrupă și restricțiile aferente sînt transmise în baza de date unde sînt disponibile soluțiile ale problemelor rezolvate anterior. Dacă problema în discuție nu își găsește o rezolvare în zestrea bazei de date, ea va fi trimisă modulului de programare liniară pentru a se obține soluția optimă pentru acea subgrupă.

Testele efectuate asupra metodei descrise mai sus dau rezultate bune pentru volume mici de date, cele mai bune obținându-se pe un eșantion de 15 lucrări și 4 unități prelucrătoare.

O analiză atentă a abordărilor de mai sus pune în evidență următoarele tendințe ale cercetărilor actuale din domeniul programării operațiilor:

1. Orientarea, în elaborarea metodelor de programare, pe integrarea și combinarea unor soluții cunoscute și experimentate, valorificând avantajele sau îndepărtând dezavantajele acestora. Devine, de asemenea, evidentă orientarea spre utilizarea elementelor de inteligență artificială, în general, și a celor de sistem expert, în special.
2. Este evidentă preocuparea pentru realizarea unui timp de răspuns cel puțin satisfăcător. Creșterea performanței modelului, ca și creșterea volumului de date dincolo de o anumită limită se răsfrâng negativ asupra timpului de răspuns. De aceea noile abordări caută realizarea unui echilibru între performanță și timp. O soluție deja acceptată pe scară largă este exploatarea acelei facilități a sistemelor expert, care permite conservarea experienței de programare în baza sa de cunoștințe.
3. Se remarcă, de asemenea, preocuparea de altfel mai veche, pentru identificarea în cadrul

fiecărei metode, a unui optim între performanța modelului și costul asociat realizării acestuia ca și între performanța soluțiilor și dimensiunea modelului. În general, se acceptă soluții suboptimale, dar apropiate de soluția optimă în favoarea unor costuri acceptabile.

## BIBLIOGRAFIE

1. SVESTKA, A., JIANG, J.: *Toward the Development of Realistic Rescheduling Methods in Real Batch Shops*. În: *Computers & Industrial Engineering*, vol.19, nr.1-4, 1990, pp.6-10.
2. KUSIAK, A.: *Artificial Intelligence and Operations*. În: *Research in Flexible Manufacturing Systems*, vol.25, 1987, nr.1.
3. HUANG, W., TANG, J.: *A New Scheduling Method for Manufacturing Systems*. În: *Computers & Industrial Engineering*, vol.19, nr.1-4, 1990, pp.22-26.
4. LEE, T.: *New Jobs Regeneration Methods for Computer Integrated Manufacturing Environment*. În: *Computers & Industrial Engineering*, vol.19, nr.1-4, 1990, pp.32-36.
5. CHENGALVARAYAN, G., PARKER, S.: *A Knowledge Based System for Flow Shop Scheduling*. În: *Computers & Industrial Engineering*, vol.19, nr.1-4, 1990, pp.17-21.