MODELAREA SISTEMELOR FLEXIBILE DE PRODUCȚIE PRIN REȚELE PETRI

Constantin DUMITRU, Daniel POPESCU, Ştefan BUZATU

1. Introducere

În sistemele flexibile de producție se desfăşoară evenimente asincrone paralele în timp, care concură la atingerea unui anumit scop comun, cel al funcționării întregului sistem. Aceste evenimente pot fi prelucrări simultane pe centre de prelucrare în acelaşi timp cu ATT-uri. Modelarea prin rețele Petri are ca obiectiv principal verificarea unor proprietăți generale ale modelelor din categoria respectivă de sisteme flexibile, precum şi verificarea unor proprietăți specifice modelului analizat. Confirmarea existenței proprietăților menționate atestă faptul că structura modelului adoptat este corectă, iar infirmarea existenței anumitor proprietăți indică prezența unor erori de modelare. Principalele proprietăți verificate sunt: viabilitatea, reinițializarea, limitarea.

Rețeaua este *viabilă* pentru un "marcaj inițial" dacă pentru orice "marcaj" M obținut din cel inițial şi pentru orice "tranziție" t, există o "secvență" ("succesiune") de tranziții "executabile" care include şi tranziția t. Această proprietate asigură faptul că nu vor apare blocaje în funcționarea sistemului flexibil proiectat. Rețeaua este *proprie* sau *reinițializabilă* dacă în orice "marcaj" M, accesibil din cel inițial, există o "secvență" de tranziții care conduce din nou la marcajul inițial. Prezența proprietății de reinițializare asigură repetitivitatea unor succesiuni de comenzi emise de la un anumit nivel de conducere al sistemului, repetitivitate care reprezintă o caracteristică a celor mai multe sisteme de automatizare. Rețeaua este *limitată* (mărginită) dacă numărul de simboluri de marcaj în orice poziție este limitat pentru oricare din variantele posibile de marcaje. Pentru număr maxim de simboluri egal cu 1 rețeaua este denumită "binară", "sigură", în sensul că o condiție poate fi satisfăcută sau nesatisfăcută. Condiția de limitare constituie o garanție a faptului că sistemul modelat este finit, respectiv că are un număr finit de stări. Absența acestei proprietăți indică o eroare de modelare.

2. Rețele Petri

Rețeaua Petri (RP) este un model grafic de tipul grafurilor orientate, cu două categorii de noduri:

- poziţii (p) - modelează condiţii;
- tranziţii (t) - modelează evenimente.

Relaţiile dintre evenimentele care pot avea loc şi condiţiile necesare pentru ca anumite evenimente să se producă efectiv sunt reprezentate prin arcele grafului, care stabilesc legăturile orientate dintre poziţii (p) şi tranziţii (t), precum şi dintre tranziţii şi poziţii. Prin producerea unui eveniment are loc modificarea atât a condiţiilor de apariţie a evenimentului cât şi a celor care decurg din producerea evenimentului. Poziţiile se reprezintă grafic prin cercuri iar tranziţiile prin dreptunghiuri. Faptul că o condiţie este îndeplinită se reprezintă grafic prin introducerea unui simbol (punct) în interiorul cercului poziţiei aferent condiţiei respective. Prezenţa sau absenţa lui constituie "marcajul" poziţiei p, notat prin m(p). În transpunerea aspectului grafic al unei reţele Petri într-o relaţie matematică, prezenţa punctului corespunde atribuirii valorii m(p) = 1, iar absenţa punctului atribuirea valorii m(p) = 0. Marcajele tuturor poziţiilor $p_i \in P$ (P este mulţimea poziţiilor, i = 1,2.....n, numărul elementelor mulţimii) formează marcajul reţelei, transpus într-un vector M de forma:

$$M = \begin{bmatrix} m(p_1) \\ m(p_2) \\ m(p_3) \\ m(p_4) \end{bmatrix} \qquad (1)$$

cu $m(p_i) \in \{0,1\}$ pentru reţele binare. În cazul considerat al reţelei binare producerea unui eveniment poate avea loc numai dacă sunt îndeplinite toate condiţiile modelate prin poziţiile de la care sosesc arce la tranziţia respectivă, deci dacă în toate aceste poziţii se găsesc puncte. Condiţia este necesară, dar nu şi suficientă, întrucât mai este necesară şi a doua condiţie, în toate poziţiile spre care pleacă arce din tranziţia considerată să nu se găsească puncte. În acest caz tranziţia este "executabilă" [m(p_i) = = m(p_i) = 1 şi m(p_i) = m(p_i) = 0], executare care implică schimbarea marcajelor poziţiilor legate prin arce de tranziţia respectivă.

3. Modelarea subsistemului presă - robot de alimentare

În starea iniţială a sistemului, presa este liberă (a terminat prelucrarea unei piese care a şi fost evacuată), iar robotul are în mecanismul de apucare un nou semifabricat, acestea fiind poziţiile p_1 şi p_2, fig.1a. Dacă aceste condiţii sunt îndeplinite, se poate produce evenimentul (tranziţia) t_1 - ali-

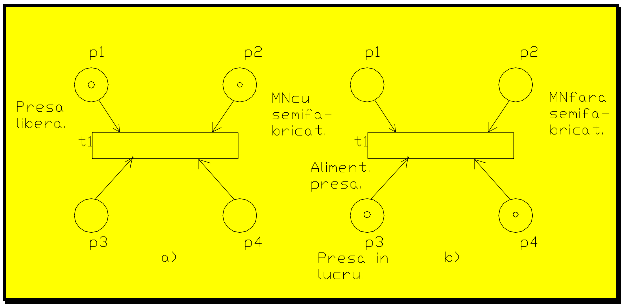

Fig. 1

mentarea presei cu un nou semifabricat. În această situaţie (fig. 1b) condiţiile p_1 şi p_2 nu mai sunt satisfăcute (presa nu mai este liberă, manipulatorul nu mai are semifabricat) astfel că din poziţiile p_1, p_2 dispare punctul de marcaj. În schimb, sunt acum satisfăcute condiţiile (poziţii) p_3 şi p_4, respectiv presa este în lucru şi robotul este liber, ceea ce se simbolizează prin introducerea punctelor de marcaj în centrele cercurilor care reprezintă poziţiile p_3 şi p_4. Vectorul de marcaj este un vector coloană care conţine toate poziţiile sistemului modelat, în care se înscrie valoarea 0 dacă respectiva condiţie nu este satisfăcută (nu are punct de marcaj) şi se înscrie valoarea 1 dacă acea poziţie este îndeplinită (are punct de marcaj).

$$M_0 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{array} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (2)$$

Pentru fragmentul de reţea considerat, marcajul iniţial este vectorul coloană:

$$M_0 \xrightarrow{t_1} M_1 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{array} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

După îndeplinirea tranziţiei t_1, vectorul de marcaj M_0 se transformă în vectorul de marcaj M_1:

Se observă că marcajele se modifică pe măsură ce se produc diversele evenimente, ceea ce justifică denumirea de graf bipartit cu marcaje dinamice (reţea Petri).

În continuare, următorul eveniment care se poate produce este t_2 (sfârşitul prelucrării piesei pe presă) ceea ce conduce la poziţia p_5 - presa trebuie pregătită să fie descărcată, iar manipulatorul este liber, se poate produce tranziţia t_3 - descărcarea presei. În această situaţie, presa este în poziţia p_1, iar manipulatorul poate să depună piesa în depozit (poziția p_6), fig.2. Ultimul eveniment (tranziție) ce

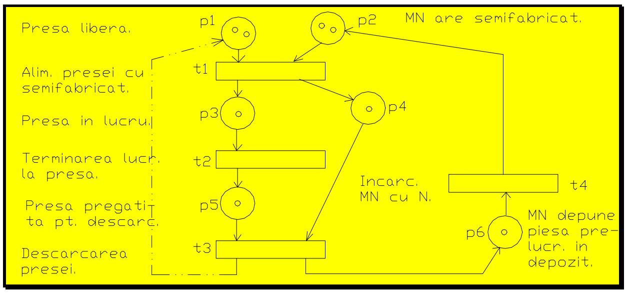

Fig. 2

se poate produce este t_4 - alimentarea manipulatorului cu un nou semifabricat; el ajunge în poziția p_2 (manipulatorul are semifabricat), iar rețeaua a revenit în starea inițială prin succesiunea de marcaje:

$$M_0 \xrightarrow{t_1} M_1 \xrightarrow{t_2} M_2 \xrightarrow{t_3} M_3 \xrightarrow{t_4} M_0 \qquad (4)$$

în care vectorii de marcaj sunt:

$$M_0 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{array}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{t_1} M_1 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{array}\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{t_2} M_2 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{array}\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{t_3} M_3 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{array}\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{t_4} M_4 = \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{array}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

În continuare se determină invariantul de rețea:

$$Inv \cdot M_0 = Inv \cdot \left(M_{i-1} + col_{t_i} C \right) = Inv \cdot M_{i-1} + Inv \cdot col_{t_i} C = Inv \cdot M_{i-1} \qquad (6)$$

Pentru exemplul considerat anterior, invariantul este de forma:

$$Inv = \left(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \right) \qquad (7)$$

Aplicând relația precedentă pentru fiecare din cele patru coloane ale matricei C, se obține sistemul omogen:

$$\begin{cases} -x_1 - x_2 + x_3 + x_4 = 0 \\ -x_3 + x_5 = 0 \\ x_1 - x_4 - x_5 + x_6 = 0 \\ x_2 - x_6 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_3 = x_5 \\ x_2 = x_6 \\ x_1 + x_2 = x_3 + x_4 \end{cases} \qquad (8)$$

care are 6 necunoscute și numai 3 ecuații (rangul matricei C fiind egal cu 3). Se adoptă 3 necunoscute, de exemplu: $x_4 = x_5 = x_6 = 1$. Așadar, unul din invarianții rețelei este: Inv1 = (1, 1, 1, 1, 1, 1). Se notează în continuare $m(p_1)$, $m(p_1)$ etc. marcajele diverselor poziții ale rețelei ce modelează sistemul flexibil, marcaje care, pentru o tranziție dată, au valorile ce rezultă din vectorii de marcaj. Din relația: $Inv \cdot M_0 = Inv \cdot M_i$, rezultă:

$$m(p_1) + m(p_2) + m(p_3) + m(p_4) + m(p_5) + m(p_6) = 2 \qquad (9)$$

relație care se poate verifica imediat, pentru oricare din vectorii de marcaj calculați anterior.

4. Concluzii

În urma acestei analize a rezultat următoarele: rețeaua constituită în vederea modelării este viabilă, adică nu se produc blocaje care să conducă la blocarea activităților; rețeaua este reinițializabilă, adică, parcurgând o succesiune de marcaje s-a ajuns în starea inițială, ceea ce corespunde unui anumit ciclu de funcționare a sistemului; rețeaua este considerată sigură sau binară, în sensul că o concluzie poate fi considerată sigură (1) sau nesigură (2), în comparație cu alte rețele; stabilirea invarianților rețelei certifică oportunitatea soluției adoptate.

Principiile de realizare a sistemelor flexibile de fabricație sunt fundamentate pe tehnologii moderne de modularizare, tipizare, de adaptabilitate și minimizare a fluxului de operații de vehiculare a materialelor. Astfel, sistemele flexibile se pot adapta rapid și optimal la modificările dimensiunilor geometrice ale piesei, sau la schimbarea acesteia cu una similară din cadrul aceleiași familii de produs, în condiții de eficiență economică și modificări structurale minime.

Bibliografie

1. Bonetti, R.: *Flexible Manufacturing Systems*. Editura Hermes, Paris, 1985
2. Crițan, I.: *Sisteme Flexibile*. TCMM, vol. I și vol. II. Editura Tehnică, București, 1987
3. Popescu, D., Dumitru, C.: *Sisteme flexibile de prelucrare*. Reprografia Universității din Craiova, 1996
4. Furukava, Y.: *An analysis of dynamic performance of half-floating sildeways and its application to machine-tool free drive systems*. Annuals of CIRP 1990
5. ***: Prospecte ale diferitelor firme producătoare de centre de prelucrare și sisteme flexibile