

## MODELAREA REȚELOR HIBRIDE DE SENZORI CU RESCRIERE DINAMICĂ

Andrei FURTUNA\*

Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea Calculatoare,  
Școala Doctorală Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică, Chișinău, Republica Moldova

\*Autorul corespondent: Andrei Furtuna, [furtuna\\_andrei@outlook.com](mailto:furtuna_andrei@outlook.com)

**Rezumat.** În acest articol este prezentată modelarea rețelelor de senzori cu rescriere dinamică. Această abordare permite modelarea situațiilor mai aproape de realitate, care simulează comportamentul unei topologii de senzori în cazurile de comportament nedorit sau eșuare. Un studiu de caz trivial este propus pentru explicarea motivației și necesității de a modela rețele Petri cu rescriere dinamică.

**Cuvinte cheie:** Rețele Petri, senzori wireless, sisteme informaționale, model de rescriere, rescriere dinamică.

### Introducere

Metodologii practice în inginerie și domeniul informațional adoptă o abordare structurală, proiectând sisteme din subsisteme și componente mai mici, care pot să fie combinate și reutilizate. Un alt factor care indică gradul de complexitatea în timpul modelării este posibilitatea de reconfigurare dinamică.

Rețelele de senzori wireless (WSN) sunt unele dintre cele mai rapid dezvoltate tehnologii informaționale cu aplicații relevante pentru misiuni critice și de siguranță, fiind utilizate cu succes în diferite domenii, cum ar fi transportul inteligent și logistica, monitorizarea mediului, supravegherea și securitatea instituțiilor, monitorizarea sănătății pacienților, controlul inteligent al rețelelor energetice, al proceselor cu aplicații industriale și militare etc. [1].

WSNs cuprinde, de obicei, noduri senzoriale (NS) individuale care funcționează cu anumite capacități de calcul și comunicare wireless limitate. NS sunt capabile să simtă mediul fizic - de exemplu, câmpul magnetic, undele acustice, temperatura, umiditatea, lumina, mișcarea etc - și partajează datele detectate prin comunicarea wireless între ele. În mod obișnuit, un NS cuprinde: un modul de detectare - acest modul obține date; un modul de procesare și stocare a datelor locale; un modul radio, destinat comunicațiilor fără fir; o sursă de alimentare limitată cu energie [2].

O limitare majoră a soluțiilor curente este lipsa posibilității de adaptare dinamică. Tratarea excepțiilor și a comportamentului nedorit este de o mare importanță în domenii precum mediul clinic, automatizarea biroului și sisteme de fabricație flexibile [3].

Modelare și verificare performanței sistemelor informatice se bazează pe diferite modele formale. Raportul dintre eficiența de modelare și tractabilitatea analitică este aplicarea rețelelor Petri (RP) care rezolvă sincronizarea, concurența și conflictele în termeni de stări ale sistemului și schimbările lor [4].

Din câte știm sunt puține soluții care suportă reconfigurarea în timpul de execuție. În articolul, [5] care rezolvă această problemă fără a pierde beneficiile de concurență în sistemul de componente.

În a doua secțiune este introdusă definiția Rețelelor Petri cu rescriere dinamică, după care urmează prezentarea unei metode de a descompune probleme complexe în componente mici. Partea finală a articolului este rezervată pentru a reprezenta un exemplu practic de aplicare a acestei metode.

### Rețele Petri cu rescriere

Mai multe extensii au fost făcute la framework-ul inițial [4]. În continuare ne vom axa pe una din variantele de RP numită RP compozit etichetată. Fiecare tranziție are o acțiune etichetată. În continuare folosim definiția propusă de [5]. Fie  $L$  este un set de acțiuni etichetate.

*Definiția 1:*

O rețea Petri compozit etichetată este structurată în felul următor.

$\Gamma = \langle P, T, Pre, Post, Test, Inh, G, Pri, K_p, l \rangle$ , unde:  $P$  - mulțimea finită de poziții,

$T$  - mulțimea finită de tranziții astfel încât  $P \cap T = \emptyset$ . În reprezentarea grafică, pozițiile sunt reprezentate prin cercuri și tranzițiile prin săgeți Fig. 1.  $Pre, Test$  și  $Inh: P \times T \rightarrow Bag(P)$  este respectiv o funcție de flux direct, test și inhibare.  $Post: T \times P \rightarrow Bag(P)$  este o funcție de flux invers în mulțimile multiple ale  $P$ , unde este definit mulțimea de arcuri  $A$  și descrie cardinalitatea dependentă de marcarea a arcurilor care unesc tranzițiile și pozițiile. Mulțimea  $A$  este partiționată în submulțimi de arbori:  $A_d, A_h$  și  $A_t$ . Submulțimea  $A_d$  conține arcurile direcționate care pot fi văzute ca  $A_d: ((P \times T) \cup (T \times P)) \rightarrow Bag(P)$  și sunt reprezentate ca săgeți unitare. Arcurile inhibitoare  $A_h: (P \times T) \rightarrow Bag(P)$  sunt reprezentate prin săgeți cu un cerc mic la capăt. Arcurile test  $A_t: (P \times T) \rightarrow Bag(P)$  sunt direcționate de la o poziție la o tranziție și sunt reprezentate prin săgeți unitare punctate. Nu consumă conținutul poziției surse.  $Bag(P)$  este o mulțime multiplă peste  $P$ . Arcul rețelei este tras dacă cardinalitatea nu este zero și aceasta este etichetată lângă arc, valoare implicită fiind 1.  $G: T \times IN_+^{|P|} \rightarrow \{TRUE, FALSE\}$  este funcția de gardă a tranzițiilor. Pentru  $t \in T$  funcția de gardă  $g(t, M)$  este o funcție booleană care va fi evaluată în fiecare marcă și, dacă se evaluează la  $TRUE$ , tranziția  $t$  poate fi activată, altfel  $t$  este dezactivată (valoarea implicită este  $TRUE$ );  $Pri: T \rightarrow IN_+$  este funcția de prioritate pentru declanșarea fiecărei tranziții care mapează tranzițiile pe numere naturale  $IN_+$  reprezentând nivelul lor de prioritate. Activarea unei tranziții cu prioritate mai mare dezactivează toate tranzițiile cu prioritate mai mică.  $K_p: P \rightarrow IN_+$  este capacitate pozițiilor, care implicit este infinită;  $l: T \rightarrow L$ , este funcția de marcă care atribuie fiecărei tranziții o etichetare. În acest fel sunt mapate denumirile tranzițiilor la acțiuni  $l(t_j) = l(t_k) = \alpha$ , dar  $t_j \neq t_k$ .

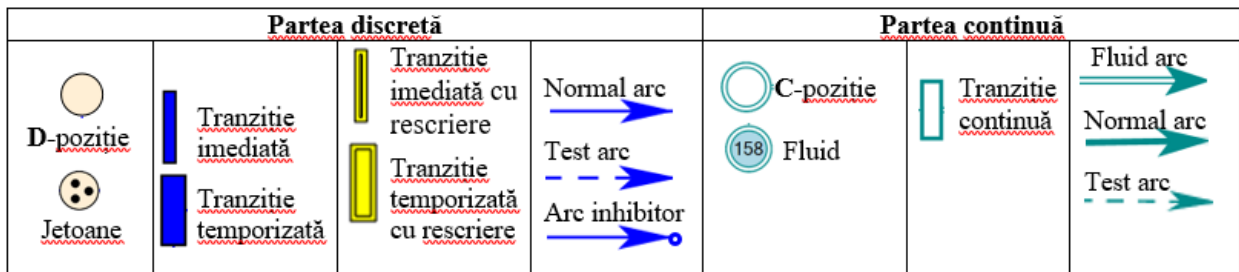


Figura 1. Elementele unei rețele Petri hibride cu rescriere

*Definiția 2:* O rețea Petri compozit etichetată este o pereche  $N = \langle \Gamma, M_0 \rangle$ , unde  $\Gamma$  este structura de tip rețea Petri compozit și  $M_0$  este marcajul inițial al rețelei.  $M: P \rightarrow IN_+$  este marcarea curentă a rețelei, care este descrisă de o coloană vectorială simbolică  $M = (m_i p_i, m_i \geq 0, \forall p_i \in P)$ , unde  $m_i p_i$  este numărul  $m_i$  de jetoane în poziția  $p_i$ .  $M$  este starea rețelei care atribuie fiecărei poziții un număr pozitiv de jetoane, reprezentate de puncte negre Fig. 1.

### Expresiile descriptive ale rețelelor Petri cu rescriere

Introducem conceptul de bază a expresiilor descriptive ( $DE$ ), care sunt descrise similar ca în [Gutuleac 2004, Gutuleac 2005], elementul ( $bDE$ ) pentru o rețea de baza RP ( $bRP$ ) în felul următor:  $bDE = |_{t_j}^{\alpha_j} m_i^0 p_i [W_i^+, W_i^-] |_{t_k}^{\alpha_k}$ . Translarea acestei  $bRP$  este reprezentată în Fig. 2 (a), unde  $t_j = \cdot p_i$  este tranziția de intrare cu acțiunea  $a_j$  și respectiv  $t_k = p_i \cdot$  este tranziția de ieșire cu acțiunea  $a_k$  a poziției  $p_i$  cu marcarea inițială  $m_i^0 = M_0(p_i)$ , și respectiv funcția relației de flux  $W_i^+ = Pre(t_j, p_i)$ , și  $W_i^- = Post(p_i, t_k)$ , care returnează multiplicitatea arcurilor de intrare și de ieșire a poziției.

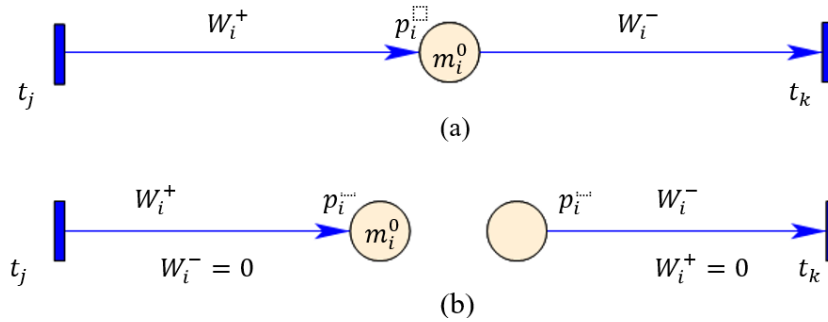


Figura 2. (a) Translarea în *bRP* a *bDE* și (b) derivatele ei.

Elementele derivate a *bDE* pentru  $p_i^* = \emptyset$ ,  $W_i^- = 0$  este  $|_{t_j}^{\alpha_j} m_i^0 p_i [W_i]$  cu poziția finală  $p_i$  a  $t_j$  și pentru  $p_i^* = \emptyset$ ,  $W_i^+ = 0$  este  $m_i^0 p_i |_{t_k}^{\alpha_k} W_i$  cu poziția de intrare  $p_i$  a  $t_k$  Fig. 2 (b).

Dacă marcarea inițială  $m_i^0$  a poziției  $p_i$  un are nici un jeton, atunci putem omite  $m_i^0 = 0$  în *bDE*.

Implicit, dacă tipul acțiunii  $a$  nu este menționată să fie atribuită tranziției  $t$ . Putem construi un model mai complex din *bDE* folosind operația de compoziție.

### Modelarea unui sistem de rezervarea biletelor de avion

Pentru a explica un model de aplicare a RP cu rescriere aducem un exemplu care poate fi familiar pentru mai mulți și anume procesul de rezervare a biletelor de avion prin Internet Fig. 3. Un utilizator își planifică călătoria specificând o serie de acțiuni din procesul întreg (*Plan Trip Task*) [6]. Este transmisă informația despre lista persoanelor care vor călători și cardul bancar de pe care vor fi extrași banii pentru achitarea biletelor (*Submit Trip Order Task*).

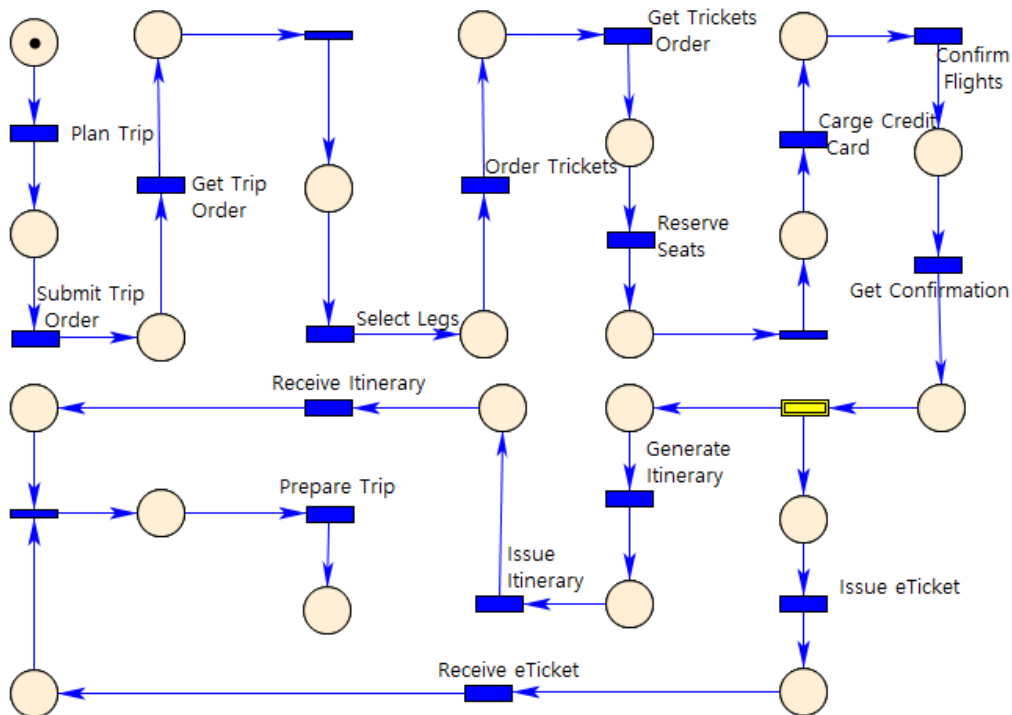


Figura 3. Modelul de rezervarea biletelor de avion online.

După care utilizatorul așteaptă pentru primirea biletului electronic (*Receive eTickets Task*) precum și itinerarul final al călătoriei (*Receive Itinerary Task*) înainte de pregătirea altor însărcinari precum rezervarea hotelului (*Prepare Trip Task*). Când agenția de călătorii primește cererea utilizatorului (*Get Trip Task*), care detemină toate destinațiile pentru fiecare etapă (*Select*

*Legs Task*) care transmite informația aceasta împreună cu datele cardului bancar la compania aeriană (*Order Tickets Task*). În continuare agenția de călătorie așteaptă confirmarea zborului (*Get Confirmation Task*), care include și locurile rezervate pentru fiecare participant. Această informație este completată într-un itinerar (*Generate Itinerary Task*) și transmite utilizatorului (*Issue Itinerary Task*). Când compania aeriană primește biletele transmise de agenția de călătorii (*Get Tickets Order Task*), locurile solicitate vor fi verificate și dacă vor fi disponibile se vor rezerva (*Reserve Seats Task*). După care vor fi extrași banii de pe cardul bancar (*Charge Credit Card Task*) și transmisă informația înapoi către agenția de călătorii (*Confirm Flight Task*). Odată ce agenția de călătorii primește confirmarea, compania aeriană va transmite biletele electronice prin e-mail utilizatorului (*Issue eTickets Task*).

### Concluzii

În cadrul acestui studiu, este propusă o abordare unificatoare de modelare și evaluare unei rețele de senzori cu proprietatea de rescriere. Rescrierea dinamică fiind o metoda de a simula comportamentul în timpul execuției, care poate trata comportamentele și scenariile nedorite. Această abordare permite, de asemenea, de a modela și a analiza caracteristicile numerice de performanță și a siguranței de funcționare a oricăror sisteme critice, dinamice și complexe.

### Referințe

1. VENKATESAN, L.; SHANMUGAVEL, S.; SUBRAMANIAM, C. A. Survey on Modeling and Enhancing Reliability of Wireless Sensor Network. In: *Wirel. Sens. Netw.*, 2013, pp. 41–51.
2. DÂMASO, A.; FREITAS, D.; ROSA, N.; SILVA, B.; MACIEL, P. Evaluating the Power Consumption of Wireless Sensor Network Applications Using Models. In: *Sensors*, 2013, 13, pp. 3473–3500.
3. CASATI, F.; CERI, S.; PERNICI, B.; & POZZI, G. Workflow evolution. *Data and Knowledge Engineering*, 24(3), 1998, pp. 211-238., ISSN 0169-023X.
4. AJMONE-MARSAN, M.; BALBO, G.; CHIOLA, G.; CONTE, G.; DONATELLI, S.; FRANCESCHINIS, G. An introduction to generalized stochastic Petri nets, *Microelectronics Reliability*, Volume 31, Issue 4, 1991, pp. 699-725, ISSN 0026-2714.
5. GUTULEAC, E.; M. MOCANU. Descriptive dynamic rewriting GSPN-based performance modeling of computer systems. In *Proceedings of the 15th International Conference on Control Systems and Computer Science, CSCS15, 25-27 May 2005*, pp. 656-661.
6. HAMADI, R; BENATALLAH, B. 2005. Dynamic restructuring of recovery nets. In *Proceedings of the 16th Australasian database conference - Volume 39 (ADC '05)*. Australian Computer Society, Inc., AUS, pp. 37–46.