

UTILIZAREA CALCULULUI BIOLOGIC PENTRU MODELAREA ȘI SINTEZA SISTEMELOR DE LUARE A DECIZIILOR

Silvia MUNTEANU

Departamentul Informatica și Ingineria Sistemelor, Facultatea de Calculatoare, Informatică și Microelectronică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Silvia Munteanu, silvia.munteanu@calc.utm.md

Îndrumătorul/coordonatorul științific: **Viorica SUDACEVSCHI**, conf.univ., dr., UTM

Rezumat. *Calculul biologic, care face parte din calculul inspirat de natură (numit și calcul molecular sau calcul celular), reprezintă un domeniu de cercetare interdisciplinar situat la intersecția domeniilor informaticii, chimiei, biologiei și fizicii și oferă premise pentru evoluția sistemelor de calcul în viitorul apropiat. Această idee urmărește dezvoltarea de noi sisteme hardware și software care să asigure procesarea datelor la nivel atomic sau molecular în baza principiilor biologice, chimice, electronice, fotonice sau mecanice ale celulelor vii.*

Cercetările efectuate în lucrare sunt orientate spre dezvoltarea unei paradigme pentru modelarea și proiectarea sistemelor de luare a deciziilor bazate pe calculul biologic. Originalitatea cercetării constă în obținerea de noi metode pentru modelarea și sinteza sistemelor decizionale de diversă complexitate bazate pe reguli (de la elemente logice elementare: ȘI, SAU, NU; circuite funcționale: CD, DC, MUX, DMUX, Rg, Ct; până la dispozitive de calcul complexe: CPU, RAM, HDD etc.).

Cuvinte Cheie: *Calcul Biologic, calcul inspirat de natură, calcul celular, sistem decizional.*

Introducere

Calculul biologic [1-4] face parte din calculul inspirat de natură și se referă la utilizarea principiilor și conceptelor din biologie pentru a dezvolta algoritmi și modele pentru procesarea datelor. Aceste modele imită procesele biologice naturale, cum ar fi evoluția, adaptarea și comportamentul colectiv al organismelor vii, pentru a rezolva probleme complexe în domeniul calculului și al inteligenței artificiale [5,6]. Există o serie de paradigme și metode inspirate din biologie, care sunt utilizate în calculul biologic, printre care pot fi menționate: Algoritmii genetici, Rețele neurale artificiale, Algoritmi de colonii de furnici, Algoritmi de roi de albine, Sisteme de particule și altele. Metodele menționate oferă calculului biologic caracteristici specifice modului de comportare a organismelor vii, așa ca:

- Algoritmi de selecție naturală, încrucișare, mutație și evoluție - pentru a căuta soluții optime în rezolvarea problemelor complexe;
- Modele care simulează structura și funcționalitatea sistemului nervos biologic – pentru a modela și simula procesele de învățare și recunoaștere aplicate în creierul uman;
- Algoritmi pentru comportamentul colectiv (colonii de furnici, roi de albine și particule) – pentru a găsi soluții eficiente în problemele de optimizare și căutare.

O altă direcție de cercetare a modelelor de calcul inspirate din natură este calculul membranar (P-Systems) care permite de a structura și ierarhiza procesele și arhitecturile de calcul.

Modelul de calcul membranar este o paradigmă inspirată din biologia celulelor vii, care oferă un potențial semnificativ pentru proiectarea algoritmilor de calcul paralel/concurent. Aceste modele sunt o extensie a calculului DNA care oferă avantaje în modelarea sistemelor discrete,

distribuite, paralele, pipeline, bazate pe seturi multiple și evoluează prin reguli rescrise. Aceste sisteme se bazează pe conceptul de procesare a datelor folosind membrane, similar organismelor biologice care procesează substanțele chimice prin membranele lor celulare [7-11].

Lucrarea de față este dedicată studiului metodelor de calcul inspirate de natură și aplicarea acestora pentru dezvoltarea sistemelor de calcul membranar pentru luarea deciziilor în managementul sistemelor și proceselor complexe.

Soluționarea problemei

Un P-System este un model de abstractizare a proceselor de calcul. Membranele sunt principalele componente din structura unui P-Systems. O membrană de calcul este o unitate logică funcțională autonomă care include un set de obiecte, un set de reguli și/sau un set de alte membrane. Membrana exterioară care interacționează cu mediul de activitate se mai numește și ”membrană container”. O membrană poate să se dizolve, și în acest caz conținutul ei migrează în membrana din care face parte, sau să se divizeze păstrând integral sau parțial proprietățile acesteia [7,12,13].

Logica funcțională a sistemelor de calcul membranar este determinată de setul de reguli. O regulă este validată de o mulțime de obiecte sau condiții de intrare, care fiind aplicate, sunt consumate și produc o mulțime de obiecte sau condiții de ieșire. În scopul excluderii unei concurențe interne o regulă poate avea o prioritate față de alte reguli (reguli dominante), astfel, pot fi elaborate modele de calcul cognitiv cu prioritate în care regulile mai puțin dominante (cu parametri de calitate reduse) vor fi aplicate doar în condiții critice sau excepționale [7].

Complexitatea algoritmică realizată de un sistem de calcul membranar depinde de setul de reguli definite pentru fiecare membrană în parte și de structura topologică a acestora. Obiectivul principal al aplicării modelelor de calcul este distribuirea optimală a sarcinilor de calcul pentru a obține un proces de calcul paralel cu eficiență maximală. Pot fi definite sisteme de calcul membranar atât cu procesare asincronă, cât și cu procesare sincronă.

Modelele de calcul membranar oferă posibilitatea de descriere formală și structurală a sistemelor decizionale de complexitate diversă. De exemplu, modelarea structurilor logice și funcționale: structuri logice și procesoare specializate, sisteme de calcul reconfigurabile, arhitecturi de calcul complexe, arhitecturi de calcul paralel și concurrent, topologii de rețea pentru sisteme de calcul distribuit și Cloud.

Celulele de calcul membranar, fiind considerate sisteme cu inteligență artificială, implementează în calitate de reguli pentru procesarea datelor atât modele matematice și logice, cât și modele bazate pe rețele neuronale, calcul evolutiv specifice calculului biologic. Un factor esențial în evoluția sistemelor de calcul membranar îl joacă capacitățile cognitive ale acestora.

Modelul formal al sistemului de calcul membranar pentru luarea deciziilor SD este definit de expresia:

$$SD = (V, \mu_1, \dots, \mu_m, \omega_1, \dots, \omega_m, R_1, \dots, R_m, O_j(\omega_j)),$$

unde: V este mulțimea de obiecte (variabile) cu care operează celulele de calcul sau domeniul de definiție al sistemului de calcul membranar;

μ_1, \dots, μ_m sunt o mulțime de celule de calcul, a căror structură topologică determină complexitatea algoritmică realizată de modelul de calcul membranar;

$\omega_j, \forall j = \overline{1, m}$ este mulțimea de obiecte (variabile) care fac parte din celula de calcul j ,
unde $\omega_j \subset V$;

$R_j, \forall j = \overline{1, m}$ sunt seturi de reguli de procesare/transformare a obiectelor/datelor asociate celulei de calcul J ;
 $O_j(\omega_j), \forall j = \overline{1, m}$ sunt mulțimea de celule de calcul care generează rezultate (decizii) intermediare sau finale ω_j ale sistemului de calcul membranar pentru luarea deciziilor SD .

Referințe

- [1] B. De Lacy Costello, *An Introduction to Molecular Computing*. Springer, 2015.
- [2] C. Adami, *Introduction to Artificial Life*. Springer, 1998.
- [3] D. Bray, *Wetware: A Computer in Every Living Cell*. Yale University Press, 2009.
- [4] M. Mitchell, *An Introduction to Genetic Algorithms*. MIT Press, 1996.
- [5] S. Russell, & P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd ed.)*. Pearson, 2016.
- [6] D. Poole & A. Mackworth, *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents (2nd ed.)*. Cambridge University Press, 2017.
- [7] G. Păun, G. Rozenberg, A. Salomaa, *DNA Computing: New Computing Paradigm, Texts in Theoretical Computer Science (An EATCS Series)*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998, 409p. ISBN: 978-3-540-64196-4.
- [8] S. Pataniak, X.-S. Yang, K. Nakamatsu, *Nature-Inspired Computing and Optimization. Theory and Application*, Springer, 2018, 494p., ISBN: 978-3-319-84522-7, DOI: 10.1007/978-3-319-50920-4.
- [9] X.-S. Yang, *Nature-Inspired Computation in Engineering*, Springer, 2016, 276p., ISBN: 978-3-319-30233-1, DOI: 10.1007/978-3-319-30235-5.
- [10] X.-S. Yang, *Nature-Inspired Computation and Swarm Intelligence. Algorithms, Theory and Applications*, Elsevier, 2020, 417p., ISBN: 978-0-12-819714-1, DOI: 10.1016/C2019-0-00628-0.
- [11] J.K. Mandal, S. Mukhopadhyay, T. Pal, *Handbook of Research on Natural Computing for Optimization Problems. Introduction to Molecular Computation: Theory and Applications – DNA and Membrane Computing, 2016*, 1015p., ISBN: 978-1-52250-058-2, DOI: 10.4018/978-1-52250-058-2.
- [12] V. Ababii, V. Sudacevschi, S. Munteanu, O. Borozan, A. Nistiriuc, V. Lasco, IoT based on Membrane Computing Models, In: *Proceedings of the 13th International Conference on Electromechanically and Energy Systems (SIELMEN-2021), 7-8 October, 2021, Chisinau, Republic of Moldova, pp. 010-014*, ISBN: 978-1-6654-0078-7. DOI: 10.1109/SIELMEN53755.2021.9600341. (IEEE Catalog Number: CFP21L58-ART).
- [13] S. Munteanu, V. Sudacevschi, V. Ababii, O. Borozan, C. Ababii, V. Lasco, Multi-Agent Decision Making System based on Membrane Computing, In: *The 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. 22-25 September, 2021, Cracow, Poland, Vol. 2. pp. 851-854*. ISBN: 978-1-6654-4210-7, DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660971.