

Raport științific

privind implementarea proiectului MuVeT în perioada ianuarie 2012 – decembrie 2016

Scopul proiectului este realizarea unei abordări de modelare bazată pe o combinație de sisteme membranare (sisteme P) și X-mașini, având ca obiectiv principal sistemele complexe multi-dimensionale. Prin aceasta, se consolidează cele două formalisme, atât prin utilizarea capacităților și instrumentelor existente, dar, de asemenea, și prin adresarea unora dintre limitările lor privind modelarea sistemelor complexe multi-dimensionale și a fenomenelor complexe. Pentru atingerea acestui scop, în cadrul proiectului sunt considerate mai multe studii de caz din diferite domenii (biologie, economie, inginerie), iar pentru limbajele de specificare rezultate sunt dezvoltate tehnici de model checking și de generare de teste, care oferă mijloacele necesare pentru verificarea formală și validarea modelelor obținute. În plus, metodele de modelare, verificare și testare rezultate din proiect trebuie însoțite de un set de instrumente care implementează aceste tehnici.

1. Principale rezultate obținute

Pentru atingerea obiectivelor mai sus menționate, în perioada ianuarie 2012 – decembrie 2016, se remarcă realizări importante în următoarele direcții principale:

- Realizarea unor investigații privind folosirea sistemelor P și a X-mașinilor pentru modelarea sistemelor complexe prin studii de caz din domenii variate.
- Realizarea unor studii de caz privind analiza calitativă și cantitativă a sistemelor bazată pe sisteme P și utilitare de model checking.
- Definirea unei noi clase de sisteme P (numite *sisteme P nucleu* sau *sisteme kP*) și a unui limbaj de modelare asociat (numit *kP-lingua*) care integrează într-un mod natural principalele facilități de modelare ale sistemelor P, adăugându-le în același timp un mecanism de control al aplicării regulilor de tipul X-mașinilor.
- Dezvoltarea unor noi tehnici de testare și utilitare pentru formalisme bazate pe stare (X-mașini)
- Extinderea la P sisteme a metodologiilor de testare dezvoltate.
- Dezvoltarea unei metodologii integrate pentru modelare, simulare și verificare formală pentru noul limbaj al sistemelor kP.
- Dezvoltarea unor utilitare pentru verificarea automată a modelelor realizate folosind limbajul kP-lingua.
- Dezvoltarea unui simulator paralel puternic pentru sistemele P .

Fiecare dintre direcțiile mai sus menționate vor fi trecute în revistă în ceea ce urmează, evidențiindu-se realizările principale.

1.1. Investigații privind utilizarea P sistemelor și a X-mașinilor pentru modelarea sistemelor complexe

Articolul [1] prezintă o abordare hibridă bazată pe combinarea adecvată a algoritmilor de Evoluție Diferențială (DE) cu P sistemele rețea (numită DETPS pe scurt), utilizată pentru rezolvarea unei clase de probleme de optimizare a parametrilor cu constrângeri de fabricare (constrained manufacturing parameter optimization problems). DETPS utilizează o structură de forma unei rețele de membrane, reguli de

evoluție și de comunicare ca într-un P sistem rețea pentru a specifica cinci variante de DE utilizate pe scară largă plasate în interiorul a cinci celule din țesutul sistemului de membrane. Fiecare variantă de DE evoluează independent într-o celulă, potrivit cu mecanismul evolutiv propriu, iar parametrii săi sunt ajustați dinamic în procesul de evoluție. DETPS aplică canalele de legătură între cele cinci celule ale sistemului de membrane pentru a realiza comunicarea în procesul de evoluție. Douăzeci și unu de probleme de referință, preluate din literatura de specialitate referitoare la optimizarea parametrilor cu constrângeri de fabricare, sunt folosite pentru a testa performanța DETPS. Rezultatele experimentale arată ca DETPS este superior sau competitiv față de douăzeci și doi de algoritmi de optimizare recent raportați în literatura de specialitate.

Lucrarea [4] prezintă aplicarea unor algoritmi de membrane pentru probleme de broadcasting, care sunt probleme de optimizare combinatoriale cu complexitate NP-hard. Un algoritm bazat pe calculul membranelor, numit HPSOPS, este propus prin combinarea în mod corespunzător a sistemelor de membrane și a tehnicii *particle swarm optimization* cu mutație wavelet (HPSOWM). HPSOPS este conceput cu structura ierarhică a sistemelor de membrane și cu reguli de tip transformare / comunicare specifice acestora și mecanismul evolutiv al HPSOWM. Rezultatele experimentale pentru diverse probleme de broadcasting arată ca HPSOPS se comportă mai bine decât omologul său HPSOWM și decât abordările cu algoritmi genetici raportate în literatura de specialitate, în termeni de capacitate de căutare, eficiență, stabilitatea soluției și precizie.

Articolul [8] realizează modele realiste ale bacteriei *Escherichia coli* (E.coli) folosind X-mașini și sisteme de membrane (mai precis clasa nou introdusă de sisteme kP) precum și extragerea și verificarea formală a unor proprietăți netriviabile ale modelelor obținute. E.coli este un locuitor comun al intestinului uman, dar este de asemenea de un interes deosebit ca instrument de studiu experimental. Prin intermediul acestuia, în ultimele decade au fost realizate descrieri impresionante ale proceselor esențiale pentru viață. Folosind simulatorul FLAME, bazat pe X-mașini, grupul de cercetare condus de profesorul Mike Holcombe (colaborator al echipei proiectului nostru) a analizat modul în care componentele individuale care formează un sistem biologic lucrează împreună pentru a produce modele coerente de comportament, investigând răspunsurile lui E.coli la diverse condiții (de exemplu, disponibilitatea de oxigen, acceptoare alternative de electroni și diferite surse de carbon) [<http://www.flame.ac.uk/>]. Investigațiile noastre urmăresc îmbunătățirea modelului existent prin adăugarea unor facilități specifice calculului cu membrane, precum și translatarea modelelor obținute în limbaje și utilitare de model checking (e.g. Event-B / ProB, Promela / Spin).

Deoarece unul dintre domeniile unde dorim să aplicăm metodele dezvoltate în proiect este domeniul ingineriei, în lucrarea [2] am inițiat studiul unor modele din aria proceselor de sincronizare în arhitecturile bazate pe servicii. Mai precis, împreună cu cercetători de firma SAP discutăm modele de coreografie în sisteme business, acestea fiind asemănătoare cu X-mașinile care comunică prin mesaje.

În plus, articolul [28] arată modul în care obiectele complexe permit o programare la nivel înalt cu sisteme P, preluând elemente din programarea funcțională. Sistemele P cu obiecte complexe au fost folosite pentru modelarea și chiar îmbunătățirea modelării unor aplicații de mare dimensiune din diverse domenii, de la computer vision la bine-cunoscuți algoritmi distribuiți de mare complexitate, probleme complexe din teoria grafurilor și probleme NP-Complete.

1.2. Realizarea unor studii de caz privind analiza calitativă și cantitativă a sistemelor bazată pe sisteme P și utilitare de model checking

Echipa proiectului MuVeT a avut o contribuție însemnată la dezvoltarea suitei de utilitare Infobiotics Workbench (IFW), bazată pe sisteme P stocastice, și utilizarea acesteia pentru analiza sistemelor în mai multe studii de caz. În [34] arătăm cum este utilizată verificarea formală în biologia sistemelor și biologia sintetică prin analiză calitativă și cantitativă. Aici am ales două studii de caz bine-cunoscute: detecție cvorum în bacteria *Pseudomonas aeruginosa* și generatorul de impulsuri. Am construit modelele stocastice corespunzătoare folosind IFW. Am efectuat o analiză formală calitativă utilizând două utilitare de model checking - NuSMV (pentru modelul detecției de cvorum) și Spin (pentru generatorul de puls) și o analiză cantitativă folosind utilitarele de model checking probabilist Prism și MC2, pentru a captura dinamica stocastică și chinetică a sistemelor considerate. Pe baza rezultatelor verificării, am inferat informații importante despre dinamica sistemelor și comportamentul lor chinetic, precum și despre rețeaua de reacții și topologia sistemelor. Toate utilitarele de model checking menționate au fost integrate în framework-ul IFW.

În [35] am prezentat atât un model de forma unui sistem P stocastic cât și unul de forma unui sistem kP nedeterminist pentru specificarea și studiul comportamentului unei porți XOR genetice. Aceste două modele sunt analizate formal folosind metode de model checking, relevând aspect calitative, precum lanțul de reacții așteptat și dependențe de tipuri diferite, precum și aspecte cantitative privind concentrația unor anumite produse cu privire la cantitatea de molecule, timpul necesar pentru obținerea unei anumite concentrații a moleculelor sau comparații privind concentrația obținută pentru anumite specii. Abordarea noastră este ortogonală față de alte investigații și implementări neconvenționale ale porților genetice XOR.

1.3. Sisteme P nucleu (kP sisteme)

O nouă clasă de sisteme P, numite sisteme P nucleu (kernel P systems, pe scurt sisteme kP), care acoperă diferite caracteristici ale sistemelor P introduse și studiate până în prezent, dar adaugă și un mecanism de control al regulilor inspirat din X-mașini, este definită și discutată în [22]. Acestea sunt sisteme de nivel relativ scăzut, definite cu scopul de a acoperi caracteristicile expuse în cele mai multe dintre problemele modelate până în prezent folosind formalisme de tip sistem P și de a integra aceste caracteristici într-un mod elegant și intuitiv. Ele cuprind un set relativ mic de reguli și strategii specifice pentru a rula sistemul pas cu pas. În plus, sunt prezentate unele rezultate preliminare cu privire la relațiile dintre sistemele kP și alte clase de sisteme P, cum ar fi sistemele P de tip neuronal și sistemele P cu membrane active. Sunt furnizate și exemple care ilustrează comportamentul sistemelor kP sau care prezintă comparativ modul în care un algoritm de sortare este modelat cu diferite clase de sisteme P. În articolul [26] este definit limbajul de modelare kP-lingua, bazat pe noua clasă a sistemelor kP.

Puterea expresivă a sistemelor kP este studiată în continuare în [3, 10, 18]. Lucrările [3, 18] prezintă o subclasă a acestora, sistemele kP simple (sistemele skP pe scurt) și investighează puterea expresivă și eficiența acesteia prin studii de caz bazate pe problema 3-colorării. Lucrarea [3] descrie două sisteme skP care modelează această problemă și le analizează în termeni de eficiență și de complexitate. Modelele de tip sistem skP se dovedesc mai succinte (în termeni de număr de reguli, obiecte, număr de celule și etape de execuție) decât modelul corespondent de tip P sistem rețea disponibil în literatura de specialitate, care rezolvă aceeași problemă, în detrimentul unei mai mari lungimi a regulilor.

Articolul [20] studiază conexiunile dintre sistemele kP și sistemele P comunicante generalizate. În plus, sunt considerate patru clase de sisteme P comunicante generalizate, studiindu-se puterea lor de calcul, rezultatele obținute fiind superioare, din punctul de vedere al numărului de celule necesare, celor existente în literatură. În [37] arătăm că, din punct de vedere al comportamentului, un sistem kP folosind

doar reguli de rescriere și comunicare poate fi simulat de X-mașini comunicante. O implementare a unor astfel de sisteme de X-mașini în FLAME este de asemenea discutată.

1.4. Tehnici și utilitare de testare pentru formalisme bazate pe stare (X-mașini)

Unul dintre principalele puncte forte ale specificațiilor de forma X-mașinilor este strategia de testare asociată. Acest lucru garantează faptul că, în condiții bine definite, toate neconcordanțele funcționale între sistemului supus testării și model sunt revelate. Din păcate, în ciuda puterii evidente a testelor bazate pe X-mașini, nu există instrumente care să pună în aplicare convingător această strategie. Lucrarea [12] prezintă un astfel de instrument, numit JSXM. Instrumentul JSXM, dezvoltat de colegi de la Universitatea din Sheffield cu sprijinul echipei proiectului, oferă animația modelelor sub forma de X-mașini în scopul validării acestora, generarea automată de cazuri de testare abstracte și transformarea cazurilor de testare abstracte în cazuri de testare concrete în limbajul folosit pentru implementare. O caracteristică specială a utilitarului este faptul că permite integrarea mai multor mașini care interacționează.

O nouă evoluție a metodelor de testare bazate pe X-mașini este realizată în lucrarea [43]. Metodele anterioare presupun ca este posibilă testarea fiecărei componente a unui sistem în mod izolat față de restul sistemului. Acest lucru se realizează în practică prin dezvoltarea unor elemente suplimentare (stubs și drivers), dar acest lucru poate crește în mod substanțial complexitatea procesului de testare. În lucrarea [43], metodele de testare existente sunt extinse pentru cazul în care testarea componentelor se face în paralel cu testarea de integrare, menținându-se în același timp puternicele rezultate teoretice ale metodelor anterioare.

Lucrarea [6] propune o abordare care, având un model de tranziție a stărilor unui sistem, construiește, în paralel, un automat aproximativ al modelului și o suită de test pentru acest sistem. Construcția modelului aproximativ se bazează pe o variantă a algoritmului lui Angluin de învățare a unui automat, adaptată pentru automatele finite de acoperire (cover automata). Un automat finit de acoperire reprezintă o aproximare a sistemului care consideră doar secvențe de lungime până la o limită superioară k prestabilită. Crucial, dimensiunea automatului de acoperire, care în mod normal depinde de k , poate fi semnificativ mai mică decât dimensiunea automatului exact care modelează sistemul. Astfel, prin intermediul lui k , poate fi ținută sub control problema exploziei stărilor asociată în mod normal cu construirea și verificarea modelelor cu stări. Metoda propusă permite, de asemenea, o construire graduală a modelului și setului de teste asociat, cu economii de complexitate și de timp. Mai mult decât atât, oferim modalități de automatizare a căutării contraexemplilor, printr-o combinație de testare black-box și testare aleatorie, cât și metrici pentru evaluarea calității rezultatelor obținute. Abordarea a fost implementată pentru limbajul Event-B [14, 15], dar ideile și principiile sale de bază sunt mult mai generale și pot fi aplicate oricărui sistem al cărui comportament poate fi descris în mod corespunzător de către un model de tranziție a stărilor. În viitor, se intenționează aplicarea acestei metode de învățare și generare de teste în cazul sistemelor de X-mașini comunicante din FLAME, pentru care explozia spațiului stărilor limitează aplicabilitatea metodelor consacrate (de testare pe baza X-mașinilor).

În paralel cu metodele teoretice de testare, au fost dezvoltate și tehnicile euristice pentru X-mașini. Lucrarea [11] prezintă o nouă abordare pentru generare de teste pe baza automatelor finite extinse (care pot fi considerate un caz particular de X-mașini) utilizând algoritmi genetici, propunând o funcție de fitness nouă pentru generarea de date pentru o cale. Cum funcția de fitness ghidează căutarea, care este crucială pentru succesul unui algoritm genetic, o îmbunătățire a funcției de fitness va reduce durata procesului de generare și va crește șansele de succes ale algoritmului de căutare. Lucrarea efectuează o

comparație între funcția de fitness propusă și funcția cel mai des utilizată în literatura de specialitate. Rezultatele experimentale arată că, pentru trasee mai complexe, care pot fi în mod logic descompuse în sub-căi independente, noua funcție surclasează funcția propusă anterior și diferența este semnificativă statistic.

1.5. Extinderea la P sisteme a metodologiilor de testare dezvoltate

Metodele de testare bazate pe X-mașini au fost extinse și la sisteme P. Folosind conceptul de automat cover și cadrul furnizat de X-mașini, lucrarea [47] prezintă o metoda de testare care, în prezența unor condiții de “design for test” bine definite, garantează a implementarea este conformă cu specificația. În plus, este studiată problema identifiabilității P sistemelor, condiție necesară pentru aplicarea cu succes a acestei metode și stabilește un set de proprietăți care asigură că un P sistem este identifiabil.

1.6. Metodologie integrată de modelare, simulare și verificare formală pentru sisteme kP

Lucrarea [24] prezintă o abordare integrată pentru modelare, simulare, extracție de proprietăți și verificare formală a sistemelor de P, ilustrată pe un P sistem rețea cu membrane active pentru rezolvarea problemei 3-colorării. Lucrarea se concentrează pe această problemă și raportează invarianții și proprietățile extrase și verificate utilizând o serie de instrumente (Daikon, MeCoSim, Maple, Spin, ProB) și limbaje (P-Lingua, Promela, Event-B). De asemenea, au fost dezvoltate instrumente adecvate și plugin-uri de integrare, care ușurează și automatizează pașii implicați în abordarea menționată mai sus. Studiul de caz ales este complex (acesta implică o creștere exponențială a numărului de stări, prin utilizarea regulilor de diviziune membranară), iar proprietățile obținute sunt netriviabile.

Această abordare este continuată în [26] pentru sistemele kP, ducând la dezvoltarea setului integrat de utilitare *kpWorkbench*. Acesta permite modelarea unui sistem în limbajul kP-lingua, translatarea automată a acestuia în limbajul Promela, precum și formularea unor proprietăți asupra sistemului modelat, atât în limbaj natural, folosind anumite pattern-uri, sau direct în LTL și verificarea acestora cu model-checker-ul Spin. Un studiu de caz centrat pe bine-cunoscuta problemă NP-completa „Suma de Subseturi” ilustrează fiecare pas al acestei metodologii.

1.7. Dezvoltarea unor utilitare pentru verificarea automată a modelelor realizate folosind limbajul kP-lingua.

Sistemele kP sunt susținute de un framework numit KPWorkbench [26, 40, 45], care integrează un set de utilitare pentru simularea și verificarea prin model checking a acestora. KPWorkbench implementează mai multe translatare care conectează mai multe specificații țintă folosite pentru modele de forma sistemelor kP. În [26], utilitarul SPIN este folosit pentru verificarea proprietăților modelelor de forma kP sistemelor. KPWorkbench conține de asemenea un simulator nativ care permite execuția modelelor scrise folosind formalismul kP sistemelor. Acest simulator este folosit cu succes în [40] pentru modele de mare dimensiune, probând potențialul său ca o metodă de analiză complementară pentru verificarea formală. În articolul [38] prezentăm două extensii suplimentare ale framework-ului KPWorkbench: un utilitar de verificare formală bazat pe utilitarul de model checking NuSMV și un mediu de simulare de mare dimensiune folosind FLAME (Flexible Large-Scale Agent Modelling Environment), o platform pentru modelare bazată pe agenți pe arhitecturi paralele, folosită cu succes în diferite aplicații, de la biologie la macroeconomie. Utilizarea acestor două utilitare pentru modelarea și analiza sistemelor biologice este ilustrată cu un studiu de caz din biologia sintetică, generatorul de puls.

În articolul [45], este prezentată o extensie a framework-ului KPWorkbench, atât pentru proprietăți LTL cât și pentru proprietăți CTL. Pentru a facilita specificarea acestor proprietăți, propunem un limbaj compus din instrucțiuni în limbaj natural. Abordarea este ilustrată prin mai multe studii de caz.

1.8. Dezvoltarea unui simulator paralel puternic pentru sistemele P

Alături de framework-ul kpWorkbench și a celorlalte utilitare și plugin-uri pentru extragerea și verificarea formală a sistemelor KP/P menționate mai sus, este de remarcat dezvoltarea unui puternic simulator paralel folosind tehnologie Hadoop, exploatând scalabilitatea oferită de Map Reduce și Big Data [27]. Acest simulator este apoi folosit pentru generarea de teste satisfăcând mai multe tipuri de acoperire (simple rule coverage, context-dependent rule coverage). Evaluările pe un benchmark de sisteme P generate automat confirmă scalabilitatea acestei abordări.

2. Impactul rezultatelor și colaborări internaționale

Un element de impact semnificativ și prestigios al rezultatelor obținute în acest proiect îl constituie prezentările invitate pe tema sistemelor kP susținute de Marian Gheorghe la principalele conferințe din domeniul calculului membranar (CMC 2013 și ACMC 2012), precum și la o prestigioasă școală doctorală - Second International School on Biomolecular and Biocellular Computing (ISBBC'13).

Proiectul prilejuiește întărirea legăturilor de colaborare cu grupuri puternice de cercetare din universități de prestigiu: grupul VT (*Verification and Testing*) de la Universitatea din Sheffield (având ca rezultat dezvoltări importante ale mediului FLAME, creat de acest grup) și grupul *Research Group on Natural Computing* de la Universitatea din Sevilla, (dezvoltatorii celui mai avansat mediu de specificare și simulare a P sistemelor, P-Lingua, avându-se în vedere integrarea metodelor propuse de noi pentru verificarea și testarea sistemelor P /kP în acest mediu). Printre colaboratorii proiectului se numără Radu Nicolescu de la Universitatea din Auckland și Gexiang Zhang de la Universitatea Southwest Jiaotong din Chengdu. Se remarcă și obținerea recentă de către prof. Gexiang Zhang a finanțării pentru un proiect de cercetare în domeniul calculului membranar, finanțat de National Science Foundation, China, în care sunt implicați doi dintre membrii echipei MuVet, Marian Gheorghe și Florentin Ipată.

3. Formarea tinerilor cercetători

În proiect sunt implicați 5 tineri cercetători: 3 doctoranzi (Ionuț Niculescu, Laurențiu Mierlă și Alexandru Ciobanu) și 2 cercetători care au primit recent titlul de doctor (Raluca Lefticaru – în 2011 - și Adrian Țurcanu – în 2012). Dintre aceștia 3 (Ionuț Niculescu, Laurențiu Mierlă și Raluca Lefticaru) sunt membri în echipa proiectului (fiind remunerați din fondurile acestuia), ceilalți doi (Alexandru Ciobanu și Adrian Țurcanu) având statutul de colaborator (din fondurile proiectului fiind suportate cheltuielile acestora prilejuite de deplasări la conferințe și vizite de lucru). Se remarcă și numărul mare de publicații la care acești tineri cercetători sunt co-autori: [3, 4, 8, 10, 11, 14, 17, 18, 19, 24, 26, 27, 31, 34, 37, 38, 39, 40].

6. Publicații rezultate

În urma activității de cercetare în proiect, până în noiembrie 2015 au rezultat următoarele lucrări:

- 13 articole în jurnale cotate ISI cu factor de impact [1, 2, 3, 4, 5, 6, 34, 35, 36, 42, 43, 44, 47]
- 1 carte publicată la Springer [7]
- 2 capitole de carte apărute în cartea publicată la Springer [8, 9]
- 21 articole în conferințe internaționale cu ISI proceedings [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 38, 40, 41, 45, 48, 49, 50]
- 11 articole în alte conferințe internaționale cu proceedings [17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 33, 39, 51]

- 2 articole de jurnal [31, 37]
- 4 articole de jurnal cotate ISI aflate la recenzie [46, 52, 53, 54].

Calitatea jurnalelor și a conferințelor unde au apărut aceste articole este sugerată de factorii de impact ridicați: 4.978, 4.698, 2.810, 2.779, 1.408, 0.825, 0.806, 0.787, 0.746, 0.479, 0.401, 0.326

De asemenea, am studiat distribuția articolelor noastre, folosind clasificarea articolelor cu cuantificatori A,B,C conform standardelor naționale definite de către Comisia de Informatică din cadrul CNATDCU. Listele cu aceste clasificări sunt disponibile online la: <http://informatica-universitaria.ro/>

Astfel, printre articolele rezultate din proiect există:

- 7 lucrări de categoria A [1,2,16,41,42,47,49],
- 11 lucrări de categoria B [4,5,6,11,12,30,35,36,40,43,44],
- 15 lucrări de categoria C¹ [3,13,14,15,17,20,26,27,28,29,34,38,45,48,50].

Lucrarile [20,41] au fost premiate cu „Best Paper Award”.

Lista completă a lucrărilor:

1. G. Zhang, J. Cheng, M. Gheorghe, Q. Meng. A hybrid approach based on differential evolution and tissue membrane systems for solving constrained manufacturing parameter optimization problems. *Applied Soft Computing*, 13 (3), 1528 - 1542, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2012.05.032>. **ISI-indexed journal, IF 2.810, categ. A.**
2. A. Stefanescu, S. Wiczorek, M. Schur. Message Choreography Modeling - A Domain-Specific Language for Consistent Enterprise Service Integration. *Software and Systems Modeling (SoSyM)*, 13 (1), 9-33 <http://dx.doi.org/10.1007/s10270-012-0272-x>. **ISI-indexed journal, IF 1.408, categ. A.**
3. M. Gheorghe, F. Ipate, R. Lefticaru, M. J. Pérez-Jiménez, A. Turcanu, L. Valencia Cabrera, M. García-Quismondo, L. Mierla. 3-Col problem modelling using simple kernel P systems. *International Journal of Computer Mathematics*, 90 (4): 816 - 830, 2013. <http://dx.doi.org/10.1080/00207160.2012.743712>. **ISI-indexed journal, IF 0.825, categ. C.**
4. G. Zhang, F. Zhou, X. Huang, J. Cheng, M. Gheorghe, F. Ipate, R. Lefticaru. A Novel Membrane Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Solving Broadcasting Problems. *Journal of Universal Computer Science*. 18 (13): 1821 – 1841, 2012. <http://dx.doi.org/10.3217/jucs-018-13-1821>. **ISI-indexed journal, IF 0.401, categ. B.**
5. M. Gheorghe, G. Paun, M. Perez-Jimenez, G. Rozenberg. Research Frontiers of Membrane Computing: Open Problems and Research Topics. *International Journal of Foundations of Computer Science*. 24(5): 547-624, 2013. **ISI-indexed journal, IF 0.326, categ. B.**
6. F. Ipate, A. Stefanescu, I. Dinca. Model Learning and Test Generation using Cover Automata. *Computer Journal*, 58(5), pp. 1140-1159, Oxford University Press, 2015. **ISI-indexed journal, IF 0.787, categ. B.**
7. P. Frisco, M. Gheorghe, M.J. Perez-Jimenez (eds.) *Applications of Membrane Computing in Systems and Synthetic Biology*. Springer, 266 pp, 2014.
8. A. Turcanu, L. Mierla, F. Ipate, A. Stefanescu, H. Bai, M. Holcombe, S. Coakley. Modeling and analysis of E. coli respiratory chain. Book chapter in P. Frisco, M. Gheorghe, M. J. Pérez-Jiménez (Eds), *Applications of Membrane Computing in Systems and Synthetic Biology*, Emergence, Complexity and Computation series, vol.

¹ Conferințele cu proceedings în *Lecture Notes in Computer Science (LNCS de la Springer)* sunt considerate în standardele naționale de categoria C, dacă nu apar deja într-una din categoriile A sau B.

- 7, pp. 247-266, Springer, 2014.
9. J. Blakes, J. Twycross, S. Konur, F. J. Romero-Campero, N. Krasnogor, M. Gheorghe. Infobiotics workbench - A P system based tool for systems and synthetic biology. Book chapter in Applications of Membrane Computing in Systems and Synthetic Biology, Springer, 2014.
 10. F. Ipate, R. Lefticaru, L. Mierla, L. Valencia Cabrera, H. Han, G. Zhang, C. Dragomir, M. J. Pérez Jiménez, M. Gheorghe. Kernel P Systems: Applications and Implementations. The 8th International Conference on Bio-Inspired Computing: Theory and Applications (BIC-TA 2013), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 202, pp. 1081-1089. Springer, 2013. **ISI Proceedings**.
 11. R. Lefticaru, F. Ipate. An Improved Test Generation Approach from Extended Finite State Machines Using Genetic Algorithms. 10th International Conference on Software Engineering and Formal Methods (SEFM 2012), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7504, pp. 293-307. Springer, 2012. **ISI Proceedings, categ. B**.
 12. D. Dranidis, K. Bratanis, F. Ipate. JSXM: A Tool for Automated Test Generation. 10th International Conference on Software Engineering and Formal Methods (SEFM 2012), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7504, pp. 352-366. Springer, 2012. **ISI Proceedings, categ. B**.
 13. E. Csuhaaj-Varjú, M. Gheorghe, M. Stannett. P Systems Controlled by General Topologies. 11th International Conference on Unconventional Computation and Natural Computation (UCNC 2012), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7445, pp. 70-81. Springer, 2012. **ISI Proceedings, categ. C**.
 14. I. Dinca, F. Ipate, L. Mierla, A. Stefanescu. Learn and Test for Event-B - A Rodin Plugin. Third International Conference on Abstract State Machines, Alloy, B, VDM, and Z (ABZ 2012), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7316, pp. 361-364. Springer, 2012. **ISI Proceedings, categ. C**.
 15. I. Dinca, F. Ipate, A. Stefanescu. Model Learning and Test Generation for Event-B decomposition. 5th International Symposium On Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISoLA 2012), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7609, pp. 539-553. Springer, 2012. **ISI Proceedings, categ. C**.
 16. L. Lin, R. Su, A. Stefanescu. Remarks on the Difficulty of Top-Down Supervisor Synthesis. 12th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV 2012), pp. 270-275. IEEE Computer Society, 2012. **ISI Proceedings, categ. A**.
 17. A. Turcanu, F. Ipate. Computational properties of two P systems solving the 3-colouring problem. 14th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC 2012), pp. 62-69, IEEE Computer Society, 2012, **categ. C**.
 18. F. Ipate, C. Dragomir, R. Lefticaru, L. Mierla, M. J. Pérez-Jiménez. Using a kernel P system to solve the 3-Col problem. 13th International Conference on Membrane Computing (CMC 2012), pp. 243-258. Computer and Automation Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, 2012.
 19. Turcanu, F. Ipate. Simplifying Event-B Models of P Systems Using Functions. 13th International Conference on Membrane Computing (CMC 2012), pp. 455 - 458. Computer and Automation Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, 2012.
 20. S. Krishna, M. Gheorghe, C. Dragomir. Some Classes of Generalised Communicating P Systems and Simple Kernel P Systems. The Nature of Computation, 9th Conference on Computability in Europe (CiE 2013), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7921, pp. 284-293, Springer, 2013. **(best paper award in Natural Computation). ISI Proceedings, categ. C**.
 21. E. Csuhaaj-Varjú, M. Gheorghe, M. Stannett. General Topologies and P Systems. Tenth Brainstorming Week on Membrane Computing. Vol 1, pp. 79 - 90. Fénix Editora, 2012.
 22. M. Gheorghe, F. Ipate, C. Dragomir. A Kernel P system. Tenth Brainstorming Week on Membrane Computing. Vol 1, pp. 153 - 170. Fénix Editora, 2012.
 23. M. Gheorghe, G. Paun, M. J. Pérez-Jiménez (Editors). Frontiers of Membrane Computing: Open Problems and Research Topics. Tenth Brainstorming Week on Membrane Computing. Vol 1, pp. 171-250. Fénix Editora,

- 2012.
24. R. Lefticaru, F. Ipate, L. Valencia Cabrera, A. Turcanu, C. Tudose, M. Gheorghe, M. J. Pérez Jiménez, I. M. Niculescu, C. Dragomir. Towards an integrated approach for model simulation, property extraction and verification of P systems. Tenth Brainstorming Week on Membrane Computing. Vol 1, pp. 291-318. Fénix Editora, 2012.
 25. G. Zhang, M. A. Gutiérrez-Naranjo, Y. Qin, M. Gheorghe. A Membrane-Inspired Evolutionary Algorithm with a Population P System and its Application to Distribution System Reconfiguration. Tenth Brainstorming Week on Membrane Computing. Vol 2, pp. 277-292. Fénix Editora, 2012.
 26. C. Dragomir, F. Ipate, S. Konur, R. Lefticaru, L. Mierla. Model checking Kernel P systems. 14th International Conference on Membrane Computing (CMC 2013). Lecture Notes in Computer Science, 8340: 151-172, Springer, 2013. **ISI Proceedings, categ. C.**
 27. A. Ciobanu, F. Ipate. Using Big Data technologies with P systems. 14th International Conference on Membrane Computing (CMC 2013). Lecture Notes in Computer Science 8340: 117-137, Springer, 2013. **ISI Proceedings, categ. C.**
 28. R. Nicolescu, F. Ipate, H. Wu. Towards High-level P Systems Programming using Complex Objects. 14th International Conference on Membrane Computing (CMC 2013). Lecture Notes in Computer Science 8340: 280-300, Springer, 2013. To appear. **ISI Proceedings, categ. C.**
 29. M. Gheorghe, F. Ipate. Kernel P Systems - A Survey. 14th International Conference on Membrane Computing (CMC 2013). Lecture Notes in Computer Science 8340: 1-9, Springer, 2013. **ISI Proceedings, categ. C.**
 30. S. Akshay, I. Dinca, B. Genest, A. Stefanescu. Implementing Realistic Asynchronous Automata. 33rd Conference on the Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2013). Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs). volume 24, pp. 213-224. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2013. **ISI Proceedings, categ. B.**
 31. A. Ciobanu, F. Ipate. P System Testing with Parallel Simulators - a Survey, Scalable Computing: Practice and Experience 14(3), 2013.
 32. L. Lin, A. Stefanescu, R. Su, W. Wang, A.R. Shehabinia. Towards Decentralized Synthesis: Decomposable Sublanguage and Joint Observability Problems. In Proc. of 55th American Control Conference (ACC 2014), pp. 2047-2052. IEEE Computer Society, 2014. **ISI Proceedings.**
 33. M. Gheorghe, F. Ipate, C. Dragomir, L. Mierla, L. Valencia Cabrera, M. García-Quismondo, M. J. Pérez Jiménez. Kernel P Systems - Version 1. Proceedings of the Eleventh Brainstorming Week on Membrane Computing, pp. 97-124. Fénix Editora, Seville, 2013.
 34. S. Konur, M. Gheorghe, C. Dragomir, L. Mierla, F. Ipate, N Krasnogor: Qualitative and Quantitative Analysis of Systems and Synthetic Biology Constructs using P Systems, ACS Synthetic Biology, 4(1), 83-92, 2015. **ISI-indexed journal, IF 4.978, categ. C.**
 35. S. Konur, M. Gheorghe, C. Dragomir, F. Ipate, N. Krasnogor: Conventional Verification for Unconventional Computing: a Genetic XOR Gate Example, Fundamenta Informaticae. Accepted. **ISI-indexed journal, IF 0.479, categ. B.**
 36. G. Zhang, C. Liu, M. Gheorghe, F. Ipate, X. Wang: QEAM: An Approximate Algorithm Using P Systems with Active Membranes, International Journal of Computers, Communications and Control, 10(2), 263-279, 2015. **ISI-indexed journal, IF 0.746, categ. B.**
 37. I. M. Niculescu, M. Gheorghe, F. Ipate, A. Stefanescu: From Kernel P Systems to X-Machines and FLAME, Journal of Automata, Languages and Combinatorics, 19(1-4), 239-250, 2014.
 38. M. E. Bakir, F. Ipate, S. Konur, L. Mierla, I. Niculescu: Extended Simulation and Verification Platform for Kernel P Systems, Int. Conf. on Membrane Computing 2014, LNCS, 158-178, 2014. **ISI Proceedings, categ. C.**
 39. I. Sakellariou, O. Kurdi, M. Gheorghe, D. Romano, P. Kefalas, F. Ipate, I.M. Niculescu: Crowd formal modelling

- and simulation: The Sa'yee ritual, UKCI 2014, 1-8, 2014.
40. M. E. Bakir, S. Konur, M. Gheorghe, I. Niculescu, F. Ipate: High Performance Simulations of Kernel P Systems, 2014 IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC), 409-412, 2014. **ISI Proceedings, categ. B.**
 41. G. Ciobanu, T. S. Hoang, A. Stefanescu. From TiMo to Event-B: event-driven timed mobility. In Proc. of 19th IEEE Int. Conf. on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS'14), pp. 1-10, IEEE Computer Society, 2014. **(best paper award) ISI Proceedings, categ. A.**
 42. L. Lin, A. Stefanescu, R. Su. On Distributed and Parameterized Supervisor Synthesis Problems. IEEE Transactions on Automatic Control 61(3), 777-782, 2016. **ISI-indexed journal, IF 2.779, categ. A.**
 43. F. Ipate, D. Dranidis: A unified integration and component testing approach from deterministic stream X-machine specifications, Formal Aspects of Computing 28(1), 1-20, 2016. **ISI-indexed journal, IF 0.806, categ. B.**
 44. X. Wang, G. Zhang, F. Neri, T. Jiang, J. Zhao, M. Gheorghe, F. Ipate, R. Lefticaru: Design and implementation of membrane controllers for trajectory tracking of nonholonomic wheeled mobile robots, Integrated Computer-Aided Engineering 23(1), 15-30, 2016. **ISI-indexed journal, IF 4.698, categ. B.**
 45. M. Gheorghe, S. Konur, F. Ipate, L. Mierla, M. E. Bakir, M. Stannett: An Integrated Model Checking Toolset for Kernel P Systems, Int. Conf. on Membrane Computing 2015, LNCS, 153-170, 2015. **ISI Proceedings, categ. C.**
 46. L. Lin, A. Stefanescu, W. Wang, R. Su. Symbolic Reachability Analysis of Globally Synchronized Templates. Submitted to Automatica, 2015. **ISI-indexed journal, IF 3.020.**
 47. M. Gheorghe, F. Ipate and S. Konur: Testing Identifiable P Systems Using Cover Automata and X-Machines. Information Sciences, 372, 565-578, 2015. **ISI-indexed journal, IF 4.038, categ. A.**
 48. M. Gheorghe, R. Ceterchi, F. Ipate, S. Konur: Kernel P Systems Modelling, Testing and Verification - Sorting Case Study, Int. Conf. on Membrane Computing 2016, LNCS, to appear, 2016. **ISI Proceedings, categ. C.**
 49. T. Stoenescu, A. Stefanescu, S. Predut, F. Ipate: RIVER: A Binary Analysis Framework using Symbolic Execution and Reversible x86 Instructions, 21st International Symposium on Formal Methods (FM 2016), LNCS, Springer, 779-785, 2016. **ISI Proceedings, categ. A.**
 50. R. Lefticaru, L. F. Macias-Ramos, I. M. Niculescu, L. Mierla. Agent-Based Simulation of Kernel P Systems with Division Rules Using FLAME. Int. Conf. on Membrane Computing 2016, LNCS, to appear, 2016. **ISI Proceedings, categ. C.**
 51. R. Lefticaru, L. F. Macias-Ramos, I. M. Niculescu, L. Mierla. Towards Agent-Based Simulation of Kernel P Systems using FLAME and FLAME GPU. Proceedings of the Workshop on Membrane Computing (WMC 2016), Manchester (UK), 11-15 July 2016. Technical Report – UB-20160819-1, University of Bradford, pages 58-61, 2016.
 52. M. Gheorghe, R. Ceterchi, F. Ipate, S. Konur, R. Lefticaru: Kernel P Systems: From Modelling to Verification and Testing. Submitted to Theoretical Computer Science. **ISI-indexed journal, categ. B.**
 53. S. N. Krishna, M. Gheorghe, F. Ipate, E. Cshaj-Varju, R. Ceterchi: Further Results on Generalised Communicating P Systems. Submitted to Theoretical Computer Science. **ISI-indexed journal, categ. B.**
 54. T. Stoenescu, A. Stefanescu, S. Predut, F. Ipate. RIVER: A Binary Analysis Framework using Symbolic Execution and Reversible x86 Instructions, Submitted to Fundamenta Informaticae, 2016. **ISI-indexed journal, categ. B.**

Director proiect,
Florentin Ipate