

Rezumat al tezei de abilitare

Computational Intelligence Models for Complex Problems

Camelia Chira

Facultatea de Matematică și Informatică
Babeș-Bolyai University

2018

Abstract

Modele de Inteligență Computațională pentru Probleme Complexe

Această teză de abilitare prezintă dezvoltarea unor modele și algoritmi de inteligență computațională pentru rezolvarea problemelor complexe cu arii de aplicație variate. Acest domeniu reprezintă cele mai importante cercetări efectuate de autor după obținerea titlului de doctor în anul 2005. Principalele rezultate ale activității de cercetare în domeniul inteligenței computaționale sunt prezentate din două perspective: în primul rând, strategiile și modelele de căutare ce stau la baza metodelor propuse sunt prezentate prin sublinierea elementelor inovatoare și modelelor noi de calcul dezvoltate și publicate; în al doilea rând, performanța algoritmilor propuși în rezolvarea unor probleme complexe de optimizare este analizată subliniind rezultatele obținute în experimente pentru instanțe sintetice și reale ale problemelor abordate.

Principalele direcții investigate sunt următoarele: (i) *modele de calcul evolutiv*, (ii) *modele bazate pe inteligența de grup*, și (iii) *modele hibride de calcul*. Un element comun al acestor direcții de cercetare se referă la nevoia de a dezvolta soluții computaționale inteligente pentru probleme complexe care nu pot fi ușor abordate folosind algoritmi standard și resurse limitate în ceea ce privește timpul și costul de calcul. Pentru aceste probleme complexe, identificarea unei soluții aproximative (care este aproape de optim) folosind resurse computaționale rezonabile este mai valoroasă decât obținerea soluției exacte care poate avea un cost foarte mare datorită spațiului de căutare complex care trebuie acoperit de un algoritm. Toate modelele de inteligență computațională prezentate în această teză sunt dezvoltate în scopul abordării unor probleme complexe de căutare și optimizare cu aplicații în domenii precum transporturi, planificare, grupare, clasificare, rețele complexe, bioinformatică, analiza datelor și predicții.

Modele de calcul evolutiv. Această direcție se axează pe dezvoltarea unor algoritmi evolutivi, operatori de recombinare, funcții de fitness și modele de căutare care stau la baza unor algoritmi și modele noi de calcul evolutiv pentru abordarea problemelor complexe. Cel mai important tip de model evolutiv propus se referă la modele evolutive colaborative asincrone. Principalele probleme abordate folosind aceste modele evolutive sunt sarcinile de clasificare din Automate Celulare, detectarea comunităților în rețele complexe precum și optimizarea sistemelor urbane de închiriere a bicicletelor sau de încărcare a vehiculelor electrice.

Modele bazate pe inteligența de grup (swarm intelligence). Metaeuristicile inspirate de natură au un potențial mare în identificarea unor soluții aproape de optim și de calitate bună pentru probleme de optimizare combinatorială care sunt prea complexe pentru algoritmi standard. Contribuțiile în această direcție de cercetare se referă la dezvoltarea mai multor modele bazate pe sistemul coloniilor de furnici (Ant Colony Systems) și integrarea unor strategii de căutare, sisteme bazate pe agenți și concepte de stigmergie. Modelele propuse au fost aplicate cu succes unor probleme de optimizare combinatorială cum ar fi Problema Comis-Voiajorului Generalizată, Problema Asignării de Porți, Problema Ordonării Liniare, Problema Minimizării Lărgimii de Bandă.

Modele hibride de calcul. Dezvoltarea modelelor hibride se bazează pe modele și concepte din domeniile calcul inspirat de natură, învățare automată și sisteme multi-agent. Contribuțiile în această direcție de cercetare includ dezvoltarea unor modele evolutive bazate pe agenți, modele evolutive cu operatori hill-climbing, metode de grupare și selecție a atributelor. Aceste modele au fost aplicate cu succes în optimizarea numerică, probleme de optimizare combinatorială și probleme complexe din bioinformatică cum ar fi predicția structurii proteinelor, diagnosticarea cancerului pe baza unor date de tip microarray și gruparea genelor pe baza unor serii de timp.

Modelele și algoritmi propuși în aceste trei direcții principale de cercetare stau sub umbrela domeniului *Inteligență Computațională (Computational Intelligence)* folosind concepte și modele din calculul inspirat de natură, algoritmi genetici, învățare automată și sisteme complexe. Aplicațiile în care au fost folosite modelele propuse necesită rezolvarea unor probleme de căutare și optimizare de complexitate ridicată. Cele mai importante contribuții specifice din toate cele trei direcții sunt următoarele:

- Algoritmi evolutivi asincroni pentru probleme de optimizare combinatorială
- Algoritmi evolutivi colaborativi de căutare pentru sarcini legate de Automate Celulare
- Algoritmi evolutivi și funcții noi de fitness pentru detectarea comunităților în rețele complexe și rețele dinamice
- Algoritmi evolutivi bazați pe permutări și operatori de căutare pentru probleme de optimizare
- Modelul furnicilor senzitive pentru probleme de optimizare combinatorială
- Hibridizare între sisteme bazate pe agenți și agenți stigmergici pentru probleme complexe de căutare
- Sisteme hibride bazate pe evoluție și învățare cu întărire pentru asignarea de trafic
- Modele evolutive cu operatori hill-climbing pentru predicția structurii proteinelor
- Metaeuristici inspirate de natură pentru sistemele urbane de închiriere a bicicletelor
- Sistem inteligent de administrare a rutelor pentru vehicule electrice
- Metode de grupare a genelor pentru date de tip microarray
- Modele și algoritmi pentru detectarea accidentelor cerebrale vasculare
- Modele și algoritmi pentru detectarea căzăturilor pe baza unui sistem de senzori

Aceste contribuții precum și liniile principale de cercetare și dezvoltări viitoare sunt detaliate în teza de față, aceasta fiind structurată pe baza celor trei direcții identificate: modele de calcul evolutiv, modele bazate pe inteligența de grup și modele hibride. Aceste trei categorii de contribuții sunt complementate de rezultatele obținute pentru aplicații cu date reale în care unele modele au fost extinse sau propuse pentru a aborda seturi reale de date și obiective corespunzătoare unor probleme complexe din lumea reală. Rezultatele științifice obținute au fost facilitate de participarea activă a autorului în 7 proiecte de cercetare după anul 2005 (după obținerea titlului de doctor) și mai multe proiecte de colaborare pe termen scurt cu parteneri industriali. Toate aceste proiecte se încadrează în domeniul inteligenței computaționale și aplicațiilor pe probleme complexe din lumea reală.

Rezultatele științifice obținute au fost diseminate în peste 120 publicații care includ 2 cărți, 3 capitole de carte, 48 articole de revistă și 70 articole de conferință indexate. Dintre articolele de

revistă, 28 articole sunt indexate în ISI Web of Knowledge, fiind publicate în reviste de mare impact cum ar fi *Integrated Computer-Aided Engineering, Applied Intelligence, Soft Computing, Neurocomputing, International Journal of Neural Systems*. Principalele evenimente științifice unde autorul a prezentat rezultatele cercetării includ conferințe relevante din domeniul inteligenței computaționale (e.g. *IEEE Congress on Evolutionary Computation, Conference on Genetic and Evolutionary Computation, International Conference on Hybrid Artificial Intelligence Systems*). Contribuțiile din aria modelelor evolutive și modelelor hibride de calcul pentru probleme complexe au avut un impact în comunitatea științifică și se bucură de o bună vizibilitate internațională. Impactul rezultatelor este confirmat de cele peste 350 de citări obținute de publicațiile autorului.

Planurile de cercetare viitoare includ: (i) integrarea învățării, adaptării și căutării evolutive, (ii) dezvoltarea unor metode competente de căutare capabile să abordeze aspecte dinamice inerente aplicațiilor reale, (iii) evoluția evoluției, (iv) dezvoltarea unor metode hibride de căutare pentru probleme de optimizare, și (v) explorarea tehnicilor de învățare automată în aplicații practice. Linii specifice de cercetare viitoare sunt detaliate în finalul acestei teze. Mai mult, direcțiile viitoare se axează pe aplicarea extensivă și extinderea modelelor computaționale propuse pentru probleme complexe reale. În particular, problemele de detectare a căzăturilor, asignare a traficului și predicția energiei necesită încă soluții capabile să adreseze fațetele multiple interconectate și complexe ale problemei. De asemenea, aspectele dinamice inerente aplicațiilor reale trebuie considerate de metodele viitoare propuse. O linie de cercetare în această direcție se referă la integrarea învățării în calculul evolutiv.

Componentele cheie ale planului de dezvoltare a carierei acoperă activități didactice, de cercetare precum și alte activități academice. Din perspectiva didactică, planurile de dezvoltare se axează pe educația bazată pe motivație, predarea cunoștințelor informată de rezultatele cercetării, actualizarea continuă a subiectelor și programelor de studiu și implicarea studenților în proiecte. Din perspectiva academică și de cercetare, planurile de dezvoltare se axează pe contribuții științifice și generarea de rezultate în cercetarea fundamentală și aplicată, dezvoltarea de propuneri de proiecte și implementarea proiectelor de cercetare, crearea unei echipe de cercetare în domeniul inteligenței computaționale, activități de colaborare atât cu mediul academic cât și cu parteneri industriali și dezvoltarea de resurse.