

Introducere

1 Importanța și actualitatea temei

Datorita interesului din viața reală pentru rezolvarea multor probleme de optimizare, s-a dezvoltat o vastă literatură de specialitate. Google Scholar raportează pentru termenul “optimization” circa 4 milioane de lucrări științifice, din care peste un million în ultimii zece ani, ceea ce dovedește importanța și actualitatea acestei teme. În prezent, optimizările sunt considerate atât parte a Matematicii, a Științei calculatoarelor, dar și a Științei Cercetărilor Operaționale. Indiferent de domeniu, îmbunătățirea unei soluții presupune rezolvarea unei probleme de optimizare. Toate produsele performante, competitive de vârf sunt rezultatul unei acțiuni de optimizare.

Problemele de optimizare se clasifică în două mari categorii: fără restricții și cu restricții. Acestea pot fi convexe (cu un singur minim) sau nu (cu multiple minime locale). În cazul convex, funcția obiectiv este de regulă netedă și derivabilă, lucru exploatat de metodele de rezolvare, în schimb în cazul neconvex, funcția obiectiv nu este prea netedă, ceea ce face rezolvarea problemei de optimizare mult mai dificilă.

La rândul lor, metodele de rezolvare pentru aceste probleme se pot clasifica în două mari categorii de abordări: deterministe și stocastice. Cele deterministe pot fi cu sau fără utilizarea gradientului sau a altor derivate de ordin superior ale funcției obiectiv. Metodele deterministe nu fac față în rezolvarea problemelor cu optime locale multiple, având tendința să eșueze într-un minim local. Pentru determinarea minimului global se utilizează abordări stocastice, care duc la o explorare aparent haotică a spațiului de căutare, pentru a da șanse algoritmului să găsească minimul global. Acestea sunt de regulă de tip metaeuristic și nu garantează găsirea soluției optime, ci doar a unei soluții pseudooptimale. Cele mai multe euristici sunt de inspirație naturală, și se pot clasifica în abordări “single-solution” și “population based”. A doua clasă se pretează foarte bine la paralelizarea calculului.

În multe cazuri optimizarea dispozitivelor electromagnetice este o optimizare a dimensiunilor lor geometrice și a poziției și valorilor surselor de câmp electromagnetic astfel încât anumite obiective să fie satisfăcute. Dificultatea este legată de complexitatea comportării funcției obiectiv, care are multe minime locale, și de faptul că evaluarea funcției obiectiv necesită rezolvarea numerică a unei probleme de câmp electromagnetic care necesită resurse de calcul importante, cum ar fi timp de procesor și memorie.

Algoritmii PSO (Particle Swarm Optimization) [Kennedy95] sunt metode de optimizare stocastice, iterative, care utilizează o populație de soluții candidat ce evoluează în timp. Acești algoritmi sunt independenți de problema de rezolvat și sunt potriviți problemelor dificile de optimizare în care nu se cunoaște derivata funcției obiectiv. Problemele principale ale algoritmului clasic PSO sunt probabilitatea mare de a se împotmoli într-un punct de minim local și numărul mare de iterații necesar pentru a găsi soluția globală. Lucrarea de față cuprinde

variante importante de algoritmi PSO ce vor fi descrise, utilizate, combinate și îmbunătățite pentru obținerea de rezultate satisfăcătoare în optimizarea dispozitivelor electromagnetice.

Dezavantajul principal al metodelor stocastice este numărul mare de evaluări ale funcției obiectiv, mai ales când costul de evaluare a funcției obiectiv este semnificativ. În acest caz, timpul de rulare pentru implementările secvențiale este considerabil, necesitatea paralelizării algoritmului de optimizare fiind evidentă. Evoluția tehnologică privind scăderea dimensiunii tranzistoarelor a dus la limitarea creșterii frecvenței de lucru a procesoarelor, din cauza imposibilității degajării căldurii. Alternativa o reprezintă arhitecturile paralele de prelucrare grupate în rețele de sisteme cu procesoare multi-core sau plăcile grafice GP-GPU care dețin sute de procesoare, dacă acestea se exploatează în mod eficient prin folosirea paralelismului în conceperea algoritmilor.

2 Conținutul tezei de doctorat

Teza este alcatuită din șapte capitole și începe cu o introducere în care sunt prezentate importanța și actualitatea temei de cercetare și structura tezei de doctorat.

În primul capitol este prezentată tehnica de modelare electromagnetică și multifizică dezvoltată în Laboratorul de Modele Numerice (LMN) ce constă în modelarea conceptuală, modelarea matematică, modelarea analitic-aproximativă, modelarea numerică, modelarea computațională, reducerea modelului și validarea și verificarea modelelor.

Capitolul doi cuprinde descrierea problemelor de test abordate: Solenoidul lui Loney, problema TEAM22 și o problemă din testarea electromagnetică nedistructivă. Au fost alese trei probleme cu caracteristici foarte deosebite, pentru a putea trage concluzii utile în practică, unde există o mare diversitate de situații.

În capitolul al treilea sunt prezentați algoritmi de optimizare cu roiuri de particule. Este prezentată abordarea clasică PSO, algoritmi Standard PSO, PSO discret (DPSO), PSO cuantic (QPSO) și variante ale acestuia și algoritmul PSO inteligent (IPSO).

În capitolul patru sunt prezentate sisteme și tehnici de calcul de înaltă performanță. Sunt prezentate modele de programare paralelă, sunt descrise modele de arhitecturi și dispozitive GPU precum și calculul computațional pe GPU – modelul de programare CUDA.

În capitolul cinci sunt descrise metode de optimizare a dispozitivelor electromagnetice bazate pe algoritmi PSO aplicate celor trei probleme studiate. Sunt prezentate variante îmbunătățite a algoritmilor PSO, acestea fiind aplicate problemelor de test.

Capitolul al șaselea prezintă aplicarea tehnicilor HPC în rezolvarea rapidă a problemelor de optimizare electromagnetică prin paralelizarea funcției obiectiv, în speță pentru problema TEAM22 și problema directă din testarea electromagnetică nedistructivă.

Capitolul șapte prezintă soluții bazate pe paralelizarea algoritmilor de optimizare și este descrisă configurația FPMB (full parallel minimum branching) pentru paralelizarea pe dispozitive GPU și paralelizarea folosind Pthreads pe procesoare multi-core și este făcută o comparație între implementările paralele ca timp și ca rezultate pentru problemele de test.

În încheiere se face o sinteză a concluziilor lucrării de față, sunt puse în evidență principalele contribuții originale ale tezei și este prezentată lista lucrărilor publicate de autor.

Teza conține în final anexe cu secvențe extrase din codurile programelor pe care le-am dezvoltat în calitate de autor.