

УДК 519.681.5+539.3

ДЕЯКІ ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ АЛГОРИТМІЧНО СКЛАДНИХ ЗАДАЧ МОДЕЛЮВАННЯ В МЕХАНІЦІ ЗВ'ЯЗАНИХ ПОЛІВ

Олександр Поліщук, Михайло Яджак

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів

Використання паралельних обчислень є одним із найважливіших факторів прискорення обчислювального процесу під час розв'язання алгоритмічно складних задач (АСЗ) [5]. До АСЗ будемо відносити перш за все ті, що потребують для свого розв'язання значних обчислювальних ресурсів, а також задачі, розв'язок яких потрібно одержувати в режимі реального часу [4]. Для ефективної реалізації паралельних методів та алгоритмів обчислень розвиваються, поширюються та стають загальнодоступними програмні (мови програмування високого рівня Fortran, Delphi, C, C++, C#, Java, Python, Go, Ada, Ruby, Eiffel тощо; сервіси паралельного програмування MPI, OpenMP, TBB, CSP, CUDA; бібліотеки виконання паралельних завдань) та апаратні (комп'ютери з багатоядерним процесором, кластерні системи, гібридні архітектури з використанням прискорювачів NVIDIA GPUs, співпроцесорів Intel Xeon Phi [3]; розподілені обчислювальні середовища [6]) засоби.

Задачі моделювання різноманітних процесів у механіці зв'язаних полів є алгоритмічно складними, оскільки зазвичай є нелінійними, тривимірними та залучають до розгляду об'єкти зі складною геометрією. Прикладами таких задач є задачі електромагнітотермомеханіки для моделювання термомеханічних процесів, задачі моделювання процесів деформування елементів конструкцій за інтенсивних термосилових навантажень, задачі аналізу напружено-деформованого стану плоских середовищ з включеннями різної жорсткості тощо. Нелінійність, складна геометрична форма досліджуваних об'єктів та їх включень суттєво утруднюють використання аналітичних підходів під час розв'язання таких задач, тому потрібно застосовувати універсальні чисельні методи, зокрема метод скінченних елементів (МСЕ), метод граничних елементів або метод скінченних різниць (МСР). Однак, поряд із розробкою та застосуванням ефективних послідовних обчислювальних схем потрібно широко використовувати і можливості розпаралелювання обчислень.

Розглянемо доволі загальні підходи до розпаралелювання, які ґрунтуються на паралелізмі за даними, а також геометричному та функціональному паралелізмі. Підхід до розпаралелювання на підставі паралелізму даних називається декомпозицією за даними. Він є доволі тривіальний і може бути використаний у разі, коли нам потрібно розв'язати одну і ту ж задачу при різних наборах вхідних даних. Такий підхід дозволяє за час розв'язання одного варіанту задачі одержати розв'язок для декількох її варіантів. Геометричним па-

ралелізмом володіють, наприклад, задачі, що описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних [1]. Вони зазвичай розв'язуються з допомогою МСЕ або МСР. Для дискретних аналогів цих задач характерними є локально-обмежені взаємодії між вузлами сітки, що покриває область розв'язання. А це дозволяє розбити цю область на підобласті і обчислення в кожній з них "доручити" окремому процесору (ядру, обчислювальному вузлу). Підхід до розпаралелювання на основі геометричного паралелізму називається декомпозицією області розв'язання і є ефективним за умови, що обчислювальна складність кожної із підзадач є приблизно однаковою. Функціональний паралелізм – це паралелізм груп операцій, об'єднаних за функціональною ознакою. Підхід до розпаралелювання на підставі функціонального паралелізму називається функціональною декомпозицією. Тривіальним прикладом функціональної декомпозиції є декомпозиція задачі на чотири такі підзадачі: введення початкових даних, опрацювання їх, виведення результатів, візуалізація результатів. Паралелізм тут досягається унаслідок одночасного виконання чотирьох підзадач і створення "конвеєра" між ними.

Зазначимо, що більшість задач моделювання зводяться до розв'язання СЛАР великої розмірності з розрідженими матрицями. Розроблено цілу низку ефективних методів, які використовують багаторівневу модель паралельних обчислень, для розв'язання таких систем на сучасних суперкомп'ютерах [2].

1. Горбаль С.И., Яджак М.С. Численное решение уравнений переноса зарядов в полупроводниковых приборах // Мат. методы и физ.-мех. поля. – 1991. – № 34. – С. 89–94.
2. Попов О.В. Комп'ютерні методи дослідження математичних моделей з розрідженими структурами даних. Автореферат дисертації ... д. ф.-м. н., спеціальність 01.05.02. – К.: Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, 2021. – 32 с.
3. Список суперкомп'ютерів світу. – Режим доступу: www.top500.org.
4. Яджак М.С. Високопаралельні алгоритми та засоби для розв'язання задач масових арифметичних і логічних обчислень. Автореферат дисертації ... д. ф.-м. н., спеціальність 01.05.03. – К.: КНУ імені Тараса Шевченка, 2009. – 33 с.
5. Яджак М.С., Поліщук О.Д., Тютюнник М.І. Оптимізація методики комплексного оцінювання складних систем на підставі паралельних обчислень // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2016. – 6, № 4. – С. 347–356.
6. Polishchuk O., Polishchuk D., Tyutyunyk M., Yadzhak M. Big data processing in complex hierarchical network systems II: computer environments and parallelization // AASCIT Communications. – 2016. – 3, No. 3. – P. 119–124.

SOME GENERAL APPROACHES TO SOLVING ALGORITHMICALLY COMPLEX SIMULATION PROBLEMS IN THE MECHANICS OF COUPLED FIELDS

An overview of general approaches to the numerical solution of problems of modeling processes and phenomena in the mechanics of coupled fields based on the use of parallel calculations is proposed. These approaches can be used to solve other algorithmically complex problems of science and technology.