

СИЛАБУС

“Засоби високопродуктивних обчислень та методи паралелізації”

Національна академія наук України

Інститут фізики конденсованих систем імені І.Р. Юхновського

Спеціальність: 104 Фізика та астрономія (Е5 Фізика та астрономія)

Лектор: докт. фіз.-мат. наук Т.М. Пацаган

tarpa@icmp.lviv.ua

ІФКС ім. І.Р. Юхновського НАН України, вул. Свенціцького 1, Львів

(032) 2760614

Опис курсу

Навчальна дисципліна спрямована на формування у здобувачів ступеня доктора філософії системних теоретичних знань і практичних навичок у галузі паралельних обчислень як фундаментального інструменту сучасних наукових досліджень. В рамках курсу розглядаються базові поняття теорії паралельних обчислень та сучасні технології їх реалізації з урахуванням вимог високопродуктивних обчислень. Особливу увагу приділено архітектурам паралельних обчислювальних систем, їх класифікації, аналізу продуктивності та методам оцінювання ефективності й масштабованості паралельних алгоритмів. Вивчаються апаратні платформи для паралельних обчислень, включно з багатоядерними процесорами, кластерними та гібридними обчислювальними системами, а також принципи побудови та функціонування комунікаційного середовища. Розглядаються методи статичного і динамічного розпаралелювання програм, синтезі та оптимізації паралельних алгоритмів. На прикладах задач лінійної алгебри, інтегральних і диференціальних рівнянь, а також моделювання систем взаємодіючих частинок аналізуються обчислювальна складність, ефективність та реальне прискорення паралельних алгоритмів у контексті їх практичного застосування в наукових дослідженнях.

Мета курсу

Мета дисципліни – оволодіти основними методами паралельного програмування та ознайомитися із сучасними програмними і апаратними засобами високопродуктивних обчислень.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен продемонструвати такі **результати навчання**:

1. Знати основні методи організації паралельних обчислень.
2. Знати основні типи сучасних та перспективних паралельних обчислювальних систем;
3. Володіти програмними засобами реалізації паралельних обчислень;
4. Знати паралельні алгоритми розв'язання деяких задач;
5. Вміти теоретично визначати складність та прискорення паралельних алгоритмів;
6. Вміти програмно реалізовувати паралельні алгоритми та оцінювати їх реальне прискорення.

Структура навчальної дисципліни

Найменування показників	Всього годин
	Денна форма
Кількість кредитів/год.	3/90
Усього годин аудиторної роботи, у т.ч.:	48
• лекційні заняття, год.	16
• семінарські заняття, год.	-
• практичні заняття, год.	24
• лабораторні заняття, год.	-
Усього годин самостійної роботи, у т.ч.:	42
• контрольні роботи, к-сть/год.	-
• розрахункові (розрахунково-графічні), к-сть/год.	4
• індивідуальне науково-дослідне завдання, к-сть/год.	16
• підготовка до навчальних занять та контрольних заходів, год.	22
Екзамен	1
Заліки	-

Частка аудиторного навчального часу студента у відсотковому вимірі – 53.3%

Опис навчальної дисципліни

Лекційні заняття

№ п/п	Назви тем	К-сть годин
1.	Вступ до високопродуктивних обчислень	2
1.1	Апаратні засоби паралельних обчислень. Архітектура та основні компоненти обчислювальних систем. Суперкомп'ютери, обчислювальні кластери та високопродуктивні обчислення. Поняття продуктивності та масштабованості.	1
1.2	Основні технології програмних засобів паралельного обчислення (MPI, OpenMP, CUDA).	1
2.	Паралелізація програм за допомогою MPI.	6
2.1	Основні принципи паралелізації за допомогою MPI. Архітектура. Керування паралельними процесами. Види комунікації та типи даних MPI. Синхронізація виконання процесів. Види комунікацій.	2
2.2	Колективний обмін даними та операція редукції в MPI. Користувацькі типи та користувацькі операції в MPI. Комунікатори та групи в MPI. Операції з блокуванням і без блокування в MPI. Віртуальні топології.	2
2.3	Засоби розробки MPI програм, їх виконання та застосування високопродуктивних обчислювальних системах. Засоби керування паралельними програмами на обчислюваних кластерах.	2
3.	Паралелізація програм за допомогою OpenMP	6
3.1	Основні принципи паралелізації за допомогою OpenMP. Архітектура. Поняття потоків.	2
3.2	Основні директиви і конструкції розподілу завдань в OpenMP. Глобальні і приватні змінні в OpenMP.	2
3.3	Синхронізація виконання потоків в OpenMP. Операція редукції в OpenMP.	2
4.	Паралелізація програм за допомогою CUDA	2
4.1	Паралельні обчислення на графічних прискорювачах за допомогою CUDA. Основні поняття. Архітектура графічного прискорювача та апаратні рішення.	1
4.2	Підходи в оптимізації паралельних обчислень. Доменна декомпозиція.	1
Усього годин		16

Практичні заняття

№ теми	Назви тем	Кількість Годин
1.	Паралелізація програм за допомогою MPI	6
1.1	Розробка програми з кількома паралельними процесами. Обмін даними між процесами із застосуванням різних видів комунікації: двосторонній та односторонній обмін, колективний обмін. Синхронний і асинхронний обмін даними. Функція редукції.	2
1.2	Інтегрування функції. Розв'язок системи лінійних рівнянь.	2
1.3	Розв'язок системи інтегральних рівнянь.	2
2.	Паралелізація програм за допомогою OpenMP	6
2.1	Розробка програми із кількома потоками. Керування потоками. Робота з глобальними і приватними змінними.	2
2.2	Використання операції редукції на прикладі чисельного інтегрування функції.	2
2.3	Розв'язок системи інтегральних рівнянь. Аналіз продуктивності та масштабованості паралельної програми. Порівняння продуктивності паралельних програм, розроблених із використанням OpenMP та MPI.	2
3.	Паралелізація програм за допомогою CUDA	6
3.1	Розробка програми з використанням технології CUDA. Інтегрування функції.	2
3.2	Розв'язок системи інтегральних рівнянь.	2
3.3	Моделювання руху взаємодіючих частинок.	2
Усього годин		24

Самостійна робота

№	Найменування робіт	кількість год.
1.	Опрацювання лекційного матеріалу.	6
2.	Підготовка до практичних занять.	16
3.	Виконання індивідуальних науково-дослідних завдань	16
4.	Проведення розрахункових та графічних робіт.	4
Усього годин		42

Критерії оцінювання результатів навчання здобувачів освіти

При оцінюванні результатів навчання значну увагу приділяється вмінню здобувачем освіти практично застосовувати знання і навички, що були отримані в рамках курсу. Оцінка за практичні заняття складається з оцінок за виконання окремих практичних робіт, в тому числі – розробку програм коду та проведення розрахункових робіт за допомогою нього. Важливо, щоб при цьому здобувач освіти міг проявити уміння критично аналізувати отримані результати розрахунків та зробити висновки на основі цього аналізу. Теоретичні знання оцінюються в рамках контрольних опитувань на лекційних і практичних заняттях, а також на екзамені в кінці курсу. Приклади контрольні питань, які в тому числі виносяться на залік, є наступними:

1. Суперкомп'ютери, обчислювальні кластери та високопродуктивні обчислення.
2. Архітектури комп'ютерних систем. Апаратні засоби. Апаратне забезпечення комунікації комп'ютерних систем. Продуктивність.
3. Основні технології паралелізації обчислень. Оцінка прискорення паралелізації задачі.
4. Основні принципи паралелізації за допомогою MPI. Архітектура. Керування паралельними процесами. Засоби розробки MPI.
5. Види комунікації та типи даних MPI. Синхронізація виконання процесів.
6. Колективний обмін даними та операція редукації в MPI.
7. Синхронний і асинхронний обмін даними. Обмін даними з блокуванням і без блокування.
8. Користувацькі типи та користувацькі операції в MPI.
9. Комунікатори та групи в MPI.
10. Операції з блокуванням і без блокування в MPI.
11. Основні принципи паралелізації за допомогою OpenMP. Архітектура. Потоки. Переваги, недоліки.
12. Основні директиви і конструкції розподілу завдань в OpenMP.
13. Глобальні і приватні змінні в OpenMP.
14. Синхронізація виконання потоків в OpenMP.
15. Операція редукації в OpenMP.
16. Архітектура графічних прискорювачів.
17. Основні поняття розробки програм із використанням технології CUDA.
18. Алгоритми паралізації. Доменна декомпозиція.

Максимальна оцінка в балах						
Поточний контроль				Екзаменаційний контроль		Разом за дисципліну
Лабораторні заняття	Практичні і семінарські заняття	Самостійна робота	Разом балів (ПК)	Письмова компонента	Усна компонента	
-	40	10	50	-	50	100

Нижні межі оцінок:

88% A

80% B

70% C

Рекомендована література

Базова

1. Hockney, Roger W., and Chris R. Jesshope. Parallel Computers 2: architecture, programming and algorithms. CRC Press, 2019.
2. Pacheco, Peter, and Matthew Malensek. An introduction to parallel programming. Morgan Kaufmann, 2021.
3. Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface, third edition, William Gropp, Ewing Lusk, and Anthony Skjellum, 2014
4. Chapman, B. Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming. Vol. 300. MIT press, 2007.
5. Ansorge, Richard. Programming in parallel with CUDA: a practical guide. Cambridge University Press, 2022.

Допоміжна

1. Karniadakis, George Em, and Robert M. Kirby II. Parallel scientific computing in C++ and MPI: a seamless approach to parallel algorithms and their implementation. Cambridge university press, 2003.
2. Chandra, R. Parallel Programming in OpenMP. Academic Press, 2001.
3. Rajaraman, Vaidyeswaran, and Ram Murthy C. Siva. Parallel Computers Architecture and Programming. PHI Learning Pvt. Ltd., 2016

Інформаційні ресурси

Віртуальне навчальне середовище Інституту фізики конденсованих систем імені І.Р. Юхновського НАН України, наукові статті науково-педагогічних працівників, бібліотечний фонд Інституту фізики конденсованих систем імені І.Р. Юхновського НАН України, а також веб-ресурси в Інтернет:

<https://www.mpi-forum.org/docs/>

<https://www.openmp.org/>

<https://developer.nvidia.com/cuda-toolkit>