



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



Паралельні обчислення на CPU/GPU/CUDA

Шифр та назва спеціальності
113 – Прикладна математика

Інститут
ННІ Комп'ютерного моделювання, прикладної фізики та математики

Освітня програма
Комп'ютерне та математичне моделювання

Кафедра
Математичне моделювання та інтелектуальні обчислення в інженерії (161)

Рівень освіти
Магістр-професіонал (1 рік 4 місяці)
Магістр-науковець (1 рік 9 місяців)

Тип дисципліни
Профільна, вибіркова

Семестр
1

Мова викладання
Українська

Викладачі, розробники



Водка Олексій Олександрович

Oleksii.vodka@khpi.edu.ua

к.т.н., доцент, завідувач кафедру ММІ

досвід роботи – 11 років. Автор понад 50 наукових та методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Візуалізація даних», «Інтегровані комп'ютерні системи проектування та аналізу», «Обробка сигналів та зображень»

[Детальніше про викладача на сайті кафедри ММІ](#)

Загальна інформація

Анотація

Цей курс спрямований на вивчення теоретичних та практичних основ систем паралельних обчислень. Студенти отримають початковий досвід розробки програмного забезпечення, що реалізує паралельні обчислення. Лабораторні заняття дадуть початковий досвід побудови програмних систем з паралельними обчисленнями на платформах з загальною пам'яттю, розподіленою пам'яттю та графічними процесорами. Вони розроблятимуть та досліджуватимуть паралельні системи систем різного призначення з використанням мови програмування C/C++ та бібліотек OpenMP, MPI та CUDA.

Мета та цілі дисципліни

Цей курс спрямований на формування знань про структуру багатопроцесорних систем з акцентом на розробку наукового програмного забезпечення та чисельних алгоритмів для підвищення продуктивності прикладних програм. Курс охоплює багатопроцесорні системи зі спільною та розподіленою пам'яттю, а також прийоми програмування графічних відеоприскорювачів для збільшення швидкості обчислень на звичайних процесорах.

Формат занять

Лекції, лабораторні заняття, консультації. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

ЗК1. Здатність генерувати нові ідеї (креативність) та нестандартні підходи до їх реалізації.

ЗК7. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК1. Здатність розв'язувати задачі й проблеми, які можуть бути формалізовані, потребують оновлення й інтеграції знань, зокрема в умовах неповної інформації.

СК2. Здатність проводити наукові дослідження з розробки нових та адаптації існуючих математичних та комп'ютерних моделей для дослідження різноманітних процесів, явищ і систем, здійснювати відповідні експерименти та аналізувати одержані результати.

СК3. Здатність розробляти методи й алгоритми побудови, дослідження та програмної реалізації математичних моделей у техніці, фізиці, біології, медицині та інших галузях та здійснювати їх аналіз.

СК7. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення для розв'язування формалізованих задач, зокрема систем з великими обсягами даних.

Результати навчання

РН4. Будувати математичні моделі складних систем і вибирати методи їх дослідження, реалізовувати побудовані моделі програмно та перевіряти їх адекватність за допомогою комп'ютерних технологій.

РН5. Обґрунтовувати та за необхідності розробляти нові алгоритми і програмні засоби для розв'язання наукових та прикладних задач, застосовувати, модифікувати і досліджувати аналітичні та обчислювальні методи їх розв'язування.

РН8. Розробляти та програмно реалізовувати алгоритми розв'язування прикладних задач, системне та прикладне програмне забезпечення інформаційних систем і технологій.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 90 год. (3 кредитів ECTS): лекції – 16 год., практичні заняття – 16 год., самостійна робота – 58 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Базові навички програмування мовою C/C++, знання методів та алгоритмів обчислень.

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції, практичні заняття, обговорення (дискусії) на лекціях та практичних заняттях.

Програма навчальної дисципліни

Теми лекційних занять

Тема 1. Вступ до паралельних обчислень

Загальні відомості, класифікація високошвидкісних обчислювальних систем, цілі, завдання та проблеми створення паралельних програм, математичні закономірності розробки багатопотокових програм.

Тема 2. Стандартна бібліотека C++ для багатопоточності

Мова програмування C++ в розробці паралельних програм. Створення потоків, їх синхронізація, проблема стану перегонів, атомарні операції та типи.

Тема 3. Стандарт програмування OpenMP

Компіляція OpenMP програм, синтаксис паралельних областей, задання кількості потоків, приклад паралельної програми множення матриці на вектор, особливості виділення пам'яті в паралельних програмах. Інтегрування прямокутним методом паралельна версія, аналіз її продуктивності, гонка станів, способи її усунення та вплив на продуктивність (критичні ділянки, атомарні операції). Розпаралелювання циклів, алгоритми розподілу циклічних задач між потоками. Приклад визначення простих чисел та його розпаралелювання, вплив алгоритмів розподілу завдань на загальну продуктивність програми. Локальність даних, вплив локальності на роботу кешу та продуктивність програми. Приклад множення матриць, вплив послідовності

дій алгоритму на стан кешу та продуктивність. Вкладені паралельні області та рекурсивні паралельні алгоритми. Обмеження глибини. Паралельний обхід бінарного дерева та його суми. Паралелізм задач. Багатопотоковий алгоритм швидкого сортування.

Тема 4. Стандарт програмування MPI

Принципи та приклади побудови систем з розподіленою пам'яттю. Суперкомп'ютери. Компіляція та запуск MPI програм. Реалізація пошуку простих чисел за допомогою MPI. Проблеми продуктивності та балансування навантаження між потоками. Комунікація між програмними вузлами. Алгоритми та функції обміну повідомленнями, проблема взаємного блокування потоків, отримання інформації про повідомлення. Блокуючі та неблокуючі функції надсилання повідомлень. Скорочення даних, операції скорочення. Передача користувацьких типів даних. Об'єднання різних даних в одне повідомлення. Приклади: Контрастність зображень, гра життя, пошук сусідів, топологія процесу. Аналіз продуктивності.

Тема 5. Технологія CUDA.

Особливості обчислень на GPU. Компіляція та запуск програм. Приклад: додавання векторів. Виділення пам'яті та передача даних з/на GPU. Особливості процесорів з архітектурою SIMT (Single-Instruction, Multiple-Thread). Приклад: Обчислення гістограми зображення на GPU. Атомарні функції та бібліотеки CUDA. Огляд стандартних бібліотек для обчислень на GPU. Кешування даних на GPU. Приклад: розв'язання задачі про взаємодію N-тіл.

Тема 6. Технологія OpenACC.

Основні ідеї та принципи. Порівняння з OpenMP. Написання простих програм для обчислення дій над векторами. Інструменти для налагодження та профілювання програм. Приклади

Теми практичних занять

Не передбачено планом

Теми лабораторних робіт

Заняття 1. Створення багатопотокової програми на C++

Створення простої обчислювальної програми. Робота зі списками у багатопотоковому режимі. М'ютекси та синхронізація.

Заняття 2. Написання OpenMP програм

Створення паралельної програми, яка обчислює визначені інтеграли методом прямокутника та трапеції. Оцінка прискорення обчислень.

Заняття 3. Написання MPI програми

Створення розподіленої програми, яка обчислює π -число методом Моте-Карло. Оцінка прискорення та масштабованості.

Заняття 4. Написання CUDA програми

Створення програми для множення матриць з GPU-прискоренням. Налаштування середовища. Оцінка прискорення та масштабованості.

Самостійна робота

Теми для самостійного опрацювання:

1. Розширення бібліотеки та багатопоточність
2. Бібліотека Intel threading building blocks
3. Нові можливості у бібліотеці OpenMP
4. Бібліотеки, що реалізують MPI: MPICH, OpenMPI, Microsoft MPI, HP MPI, Intel MPI, MPJ та інші
5. OpenCL та його застосування
6. Бібліотеки Cuda для перетворення Фур'є, множення матриць тощо

Також самостійна робота включає підготовку до лабораторних занять та підготовку звітів з пройдених лабораторних занять

Література та навчальні матеріали

1. Pacheco, P., & Malensek, M. (2021). An Introduction to Parallel Programming. Morgan Kaufmann.
2. Pacheco, P. (1997). Parallel programming with MPI. Morgan Kaufmann.

3. Chandra, R., Dagum, L., Kohr, D., Menon, R., Maydan, D., & McDonald, J. (2001). Parallel programming in OpenMP. Morgan kaufmann.
4. Schmidt, B., Gonzalez-Dominguez, J., Hundt, C., & Schlarb, M. (2017). Parallel programming: concepts and practice. Morgan Kaufmann.
5. Tay, R. (2013). OpenCL parallel programming development cookbook. Birmingham, UK: Packt Publishing.
6. Storti, D., & Yurtoglu, M. (2015). CUDA for engineers: an introduction to high-performance parallel computing. Addison-Wesley Professional.
7. Kaeli, D. R., Mistry, P., Schaa, D., & Zhang, D. P. (2015). Heterogeneous computing with OpenCL 2.0. Morgan Kaufmann.
8. Banger, R., & Bhattacharyya, K. (2013). OpenCL programming by example. Packt Publishing Ltd.

Система оцінювання

Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Загальна оцінка (макс. 100 балів) складається з наступних компонентів:

1. Тест з теоретичної частини за матеріалами лекцій 40 балів;
2. Оцінка за практичні роботи (60 балів);

Оцінка самостійної роботи виконується шляхом завдання питань по відповідним темам при захисті лабораторних робіт і є складовою частиною оцінки за практичні роботи.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

Дата погодження
30.08.2023

Завідувач кафедри ММІ
Олексій ВОДКА

Дата погодження
30.08.2023

Гарант ОПП (1 рік 4 місяці)
Олексій ЛАРІН

Гарант ОНП (1 рік 9 місяців)
Геннадій МАРТИНЕНКО