



Національний
транспортний
університет

ВК Паралельні та розподілені обчислення

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Дні занять, час занять, аудиторія: будуть доступні згідно розкладу за посиланням <https://kizt.ntu.edu.ua/to-the-student/rozklady-zanyat-i-sesij/>

Кафедра інформаційних технологій та штучного інтелекту

Лекції проводить

д.т.н., проф. Мухін Вадим Євгенійович

Контактна інформація	v.mukhin@kpi.ua +38067 5087684
----------------------	--

Адреса, номер аудиторії	м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19, каб. 803
-------------------------	---

Час консультацій	За попередньою домовленістю з викладачем
------------------	--

Практичні заняття проводить

д.т.н., проф. Мухін Вадим Євгенійович

Контактна інформація	v.mukhin@kpi.ua +38067 5087684
----------------------	--

Аудиторія	м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19, каб. 803
-----------	---

Час консультацій	За попередньою домовленістю з викладачем
------------------	--

Анотація дисципліни: «Паралельні та розподілені обчислення» - вибіркова навчальна дисципліна, присвячена моделям, архітектурам і програмним засобам організації паралельного виконання. У курсі розглядаються багатоядерні та багатопроцесорні системи, моделі спільної й розподіленої пам'яті, OpenMP, MPI, CUDA та OpenCL, синхронізація, обмін повідомленнями, балансування навантаження, відмовостійкість і вимірювання продуктивності.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є моделі паралельних і розподілених обчислень, архітектури багатоядерних та багатопроцесорних систем, засоби синхронізації й обміну повідомленнями, методи балансування, оцінювання продуктивності та відмовостійкості програмних рішень. Обсяг дисципліни - 4 кредити ЄКТС (120 годин): денна форма - 18 годин лекцій, 18 годин практичних занять і 84 години самостійної роботи; заочна форма - 2 години лекцій, 4 години практичних занять і 114 годин самостійної роботи.

Мета дисципліни: сформувати здатність проєктувати, реалізовувати та експериментально оцінювати паралельні й розподілені програми з урахуванням моделі пам'яті, вартості комунікацій, синхронізації та обмежень обчислювальної платформи.

Очікувані результати навчання: після завершення дисципліни здобувач освіти зможе: 1) класифікувати паралельні архітектури та обирати модель пам'яті й програмування для задачі; 2) розкласти обчислення на паралельні задачі та визначати залежності між ними; 3) реалізовувати програми із застосуванням OpenMP, MPI, CUDA або OpenCL; 4) виявляти гонки даних і взаємні блокування та обирати засоби синхронізації; 5) організовувати обмін повідомленнями, балансувати

навантаження й обробляти відмови обчислювальних вузлів; 6) вимірювати прискорення, ефективність і масштабованість, аналізувати профілі виконання та обґрунтовувати оптимізаційні рішення.

Міждисциплінарні зв'язки: дисципліна пов'язана з навчальними дисциплінами «Методологія та організація наукових досліджень», «Інноваційні технології Big Data та інформаційної безпеки в управлінні транспортними системами», «Моделі управління IT-інфраструктурою», «Проектування програмного забезпечення інтелектуальних систем», «Проектування систем з розподіленими базами даних» та «Хмарні технології».

Програма навчальної дисципліни складається з таких модулів:

Модуль 1. Основи паралельних обчислень

Тема 1. Основи паралелізму та оцінювання продуктивності

Поняття паралелізму на рівнях команд, даних і задач. Декомпозиція задач, залежності між операціями та критичний шлях. Послідовна й паралельна частини програми. Прискорення, ефективність, пропускна здатність і масштабованість. Закон Амдала та закон Густафсона. Планування контрольного експерименту, вибір базової реалізації та коректне вимірювання часу виконання.

Тема 2. Архітектури паралельних систем і моделі пам'яті

Класифікація Флінна: SISD, SIMD, MISD, MIMD. Багатоядерні, багатопроцесорні та кластерні системи. Спільна, розподілена й гібридна пам'ять, когерентність кешів і локальність даних. Векторні розширення та графічні процесори як платформи масового паралелізму. Вартість доступу до пам'яті й комунікацій як фактор вибору архітектури.

Тема 3. Моделі паралельного програмування та програмні інтерфейси

Моделі SPMD, SIMD і MPMD, потоки та процеси. OpenMP для систем зі спільною пам'яттю, MPI для обміну повідомленнями, CUDA та OpenCL для гетерогенних платформ. Створення паралельних областей, розподіл ітерацій, передавання даних, колективні операції та обробка помилок. Реалізація прикладів мовами C/C++ або Python із фіксацією параметрів запуску.

Тема 4. Синхронізація, узгодженість і комунікація процесів

Гонки даних, взаємне виключення, атомарні операції, бар'єри, семафори та блокування. Взаємні блокування: умови виникнення, виявлення та запобігання. Буферизація, порядок повідомлень і колективні операції MPI. Перевірка коректності паралельної програми під час різних сценаріїв планування та кількості потоків.

Модуль 2. Розподілені обчислення та високопродуктивні платформи

Тема 5. Розподілена пам'ять та відмовостійкий обмін повідомленнями

Організація обчислень на незалежних вузлах із розподіленою пам'яттю. Комунікатори, ранги, топології та колективні операції MPI. Вартість передавання повідомлень, синхронізація без глобального спільного стану та узгодженість результатів. Виявлення відмов вузлів, повторний запуск задач, контрольні точки та відновлення обчислення. Практичне порівняння блокувального й неблокувального обміну.

Тема 6. Балансування паралельних задач і масштабованість

Статичний і динамічний розподіл ітерацій та задач. Дисбаланс навантаження, гранулярність, планування та локальність даних. Масштабованість за кількістю потоків і вузлів, вплив послідовної частини, синхронізації та комунікацій. Профілювання та порівняння стратегій планування на контрольному наборі задач.

Тема 7. Гетерогенні обчислення та апаратні прискорювачі

Модель виконання GPU: сітка, блоки, потоки та ядра. Ієрархія пам'яті, передавання даних між CPU і GPU, синхронізація потоків та оптимізація доступу до пам'яті. Реалізація обчислювального ядра CUDA або OpenCL. Векторизація, асинхронний запуск, профілювання та порівняння CPU- і GPU-реалізацій за часом виконання та пропускну здатністю.

Тема 8. Паралельні алгоритми та експериментальне оцінювання

Паралельні алгоритми множення матриць, редукції, обробки масивів, stencil-обчислень і пошуку в графах. Вибір схеми декомпозиції та розподілу даних. Перевірка коректності, побудова базової послідовної версії, вимірювання прискорення й ефективності, аналіз вузьких місць і повторюваності результатів. Підготовка технічного звіту з параметрами запуску та висновками щодо масштабованості.

Для розвитку дослідницьких і творчих навичок здобувачам освіти можуть пропонуватися додаткові завдання за тематикою дисципліни: порівняння моделей пам'яті, відтворення експерименту, профілювання паралельної програми або підготовка доповіді. Результати таких робіт зараховуються в межах установлених балів поточного контролю.

Тематика індивідуальної роботи погоджується з викладачем і має містити опис задачі, схеми декомпозиції, програмної реалізації, параметрів запуску, вимірних показників продуктивності та висновків.

Методи поточного контролю: виконання та захист практичних робіт, тематичні тести, перевірка коректності паралельних програм, аналіз вимірювань продуктивності та усне обґрунтування вибору моделі паралелізму.

Методи модульного контролю: для денної форми - дві модульні контрольні роботи по 10 балів; для заочної форми - контрольна робота на 20 балів. Підсумковий контроль - 40 балів; його форма визначається після встановлення коду вибіркового компонента.

Джерела для вивчення дисципліни:

1. Методичні матеріали, приклади програм і завдання до практичних робіт, розміщені у віртуальному середовищі навчання.

2. Електронний ресурс бібліотеки НТУ: <http://lib.ntu.edu.ua/catalog/login.html>

Віртуальне середовище навчання (Google Classroom): посилання на курс надається викладачем на першому занятті.

Оцінювання

Контроль протягом семестру (60 балів)								МКР / КР	Підсумковий контроль	Сума балів
Модуль 1				Модуль 2						
Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4	Тема 5	Тема 6	Тема 7	Тема 8			
Для денної форми: за кожною з тем 1–8 - до 3 балів за виконання і захист практичної роботи та до 2 балів за тематичний тест або усне обґрунтування. Разом за теми - 40 балів.								МКР № 1 - 10 балів; МКР № 2 - 10 балів.	40	100
Для заочної форми: за кожною з тем 1–8 - до 5 балів за виконання і захист практичного завдання. Разом за теми - 40 балів.								Контрольна робота - 20 балів.		

Самостійна робота

Самостійна робота охоплює опрацювання документації, підготовку середовища, завершення практичних експериментів, профілювання програм і оформлення звітів. Додаткові види робіт оцінюються лише в межах 60 балів поточного і модульного контролю.

Підготовка до практичних занять і контрольних заходів здійснюється під час самостійної роботи з можливістю консультування з викладачем у визначений час або засобами електронного зв'язку.

Результати неформальної або інформальної освіти можуть бути визнані замість відповідних завдань за процедурою НТУ в межах 60 балів і не збільшують максимальну оцінку понад 100 балів.

Критерії оцінювання

Критерії оцінювання: коректність паралельної реалізації; відтворюваність експерименту; обґрунтованість декомпозиції та вибору засобів синхронізації; правильність вимірювання прискорення, ефективності й масштабованості; якість аналізу та звіту. Підсумкові бали визначаються як сума балів, отриманих протягом семестру та за підсумковий контроль, відповідно до Додатка 1 до Положення про організацію освітнього процесу в НТУ.

Політика несвоєчасного проходження контрольних заходів.

Поточний та підсумковий контролю проводяться згідно з графіком освітнього процесу та затвердженими графіками. У разі неявки на підсумковий контроль з поважної причини контроль може бути проведений індивідуально в погоджений строк за наявності дозволу дирекції ННКІЗТ.

Повторне складання підсумкового контролю в разі отримання незадовільної оцінки допускається не більше двох разів: один раз - викладачеві, другий - комісії, створеній директором ННКІЗТ відповідно до чинних нормативних документів НТУ.

У разі подання завдання пізніше встановленого строку без поважної причини оцінка знижується на 10 %. Документовані збої електронного середовища навчання, аварійні відключення або інші обставини, що об'єктивно унеможливили своєчасне подання, розглядаються викладачем індивідуально.

Політика перескладання. Упродовж тижня після оголошення результатів поточного контролю здобувач освіти може звернутися до викладача за роз'ясненням або з обґрунтованою незгодою. Апеляція щодо підсумкового контролю подається в порядку та строки, визначені

чинними нормативними документами НТУ. Повторне проходження підсумкового контролю з метою підвищення позитивної оцінки не допускається.

Політика відвідування та активності. Здобувач освіти має брати участь у заняттях і виконувати передбачені дисципліною завдання. Пропущені практичні роботи та контрольні заходи виконуються за погодженим індивідуальним графіком до завершення підсумкового контролю.

Академічна доброчесність. Дотримання академічної доброчесності регулюється Кодексом етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ, Положенням про систему забезпечення академічної доброчесності та іншими чинними нормативними документами університету.

Кодекс етики академічних взаємовідносин та доброчесності Національного транспортного університету

Положення про систему забезпечення академічної доброчесності педагогічними, науково-педагогічними, науковими працівниками та здобувачами вищої освіти в Національному транспортному університеті

Порушеннями академічної доброчесності є:

- академічний плагіат;
- фальсифікація;
- списування;
- обман;
- неправомірна вигода;
- хабарництво.

Порушення Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності Національного транспортного університету є серйозним порушенням, навіть якщо воно є ненавмисним.

Під час поточного або підсумкового контролю дозволено використовувати лише ті джерела й засоби, які прямо визначив викладач. Ознаки списування, недозволеної допомоги або підміни авторства розглядаються за процедурами академічної доброчесності НТУ.

Поведінка в аудиторії. Ноутбуки та портативні пристрої використовуються з навчальною метою відповідно до завдань дисципліни. Не допускається використання пристроїв, яке перешкоджає заняттю або порушує академічну доброчесність. Обмеження не поширюються на погоджені засоби доступності та допоміжні технології.

Підтримка здобувачів з особливими освітніми потребами погоджується з дирекцією ННКІЗТ.

За проблем зі здоров'ям, що перешкоджають навчанню, здобувач звертається до медичного закладу та повідомляє дирекцію ННКІЗТ.

Скарги, пропозиції, зауваження та повідомлення про конфліктні ситуації в межах освітніх програм можна надсилати на електронну адресу general@ntu.edu.ua або через скриньку довіри, розміщену при вході до університету.

Електронна скринька для звернень до психологічної служби: philosophy@ntu.edu.ua.

Канали зв'язку з розробником силабуса: e-mail v.mukhin@kpi.ua; тел.: +380 (67) 508-76-84.

Рекомендована література:

1. Pacheco P. An Introduction to Parallel Programming. 2nd ed. Morgan Kaufmann, 2022.
2. OpenMP Architecture Review Board. OpenMP API Specification. URL: <https://www.openmp.org/specifications/>.
3. Message Passing Interface Forum. MPI: A Message-Passing Interface Standard, Version 4.1. URL: <https://www.mpi-forum.org/docs/mpi-4.1/mpi41-report.pdf>. Open MPI. Documentation. URL: <https://docs.open-mpi.org/>.

4. NVIDIA. CUDA C++ Programming Guide. URL: <https://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/>.
5. Khronos Group. OpenCL Documentation. URL: <https://www.khronos.org/opencl/>. Rauber T., Rünger G. Parallel Programming: For Multicore and Cluster Systems. 2nd ed. Springer, 2013.
6. Tanenbaum A. S., van Steen M. Distributed Systems. 4th ed. 2023. URL: <https://www.distributed-systems.net/index.php/books/ds4/>.
7. Herlihy M., Shavit N. The Art of Multiprocessor Programming. Revised 1st ed. Morgan Kaufmann, 2020. URL: <https://www.elsevier.com/books/the-art-of-multiprocessor-programming/herlihy/978-0-12-415950-1>.
8. Silberschatz A., Galvin P. B., Gagne G. Operating System Concepts. 10th ed. Wiley, 2018. URL: <https://www.os-book.com/>.
9. Coulouris G., Dollimore J., Kindberg T., Blair G. Distributed Systems: Concepts and Design. 5th ed. Pearson, 2011.
10. McCool M., Reinders J., Robison A. Structured Parallel Programming. Morgan Kaufmann, 2012.
11. Intel. oneTBB Developer Guide. URL: <https://uxlfoundation.github.io/oneTBB/>.
12. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. 6th ed. Morgan Kaufmann, 2019.
13. Lawrence Livermore National Laboratory. Introduction to MPI. URL: <https://hpc-tutorials.llnl.gov/mpi/>.
14. Kirk D. B., Hwu W.-m. W. Programming Massively Parallel Processors. 4th ed. Morgan Kaufmann, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780323912310/programming-massively-parallel-processors>.
15. Dally W. J., Harting B. T. Digital Design: A Systems Approach. Cambridge University Press, 2012.

Додаткова інформація

Детальнішу інформацію щодо методів навчання, практичних занять, форм оцінювання, самостійної роботи та повного списку літератури наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни.