

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка
Факультет прикладної математики та інформатики
Кафедра програмування

Затверджено

На засіданні кафедри програмування
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 29 серпня 2023 р.)



Зав. кафедри к. ф.-м. н., доц. Ярошко С. А.

Силабус навчальної дисципліни
«Паралельні та розподілені обчислення»,
що викладається в межах ОПШ “Інформатика”
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів зі спеціальності 122 Комп’ютерні науки

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Паралельні та розподілені обчислення
Адреса викладання дисципліни	Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Університетська 1, м. Львів, Україна, 79000
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики, кафедра програмування
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань: 12 Інформаційні технології Спеціальність: 122 Комп'ютерні науки
Викладачі дисципліни	Гошко Богдан Мирославович, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри програмування; Пасічник Тимофій Васильович, к. ф.-м. н., доцент, доцент кафедри програмування
Контактна інформація викладачів	Електронна пошта: bohdan.hoshko@lnu.edu.ua , tymofiy.pasichnyk@lnu.edu.ua веб-сторінки: https://ami.lnu.edu.ua/employee/hoshko https://ami.lnu.edu.ua/employee/pasichnyk
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації проводять раз на тиждень згідно з оприлюдненим розкладом консультацій викладача. Можливі он-лайн консультації через Zoom чи Microsoft Teams. Для погодження часу он-лайн консультацій слід писати на електронну пошту викладача.
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/parallel_and_distrib_calc
Інформація про дисципліну	Курс «Паралельні та розподілені обчислення» є нормативною дисципліною зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки (інформатика) для освітньої програми «Інформатика», яку викладають у п'ятому семестрі в обсязі 4 кредити (за Європейською кредитно-трансферною системою ECTS)
Коротка анотація дисципліни	Курс «Паралельні та розподілені обчислення» призначений для набуття теоретичних і практичних знань в області паралельних та розподілених обчислень, оволодіння концепціями сучасного програмування в рамках парадигм паралельного та розподіленого програмування. Основу вивчення курсу складають підходи до програмування в багатопотокових системах, розподілених системах, системах синхронних паралельних розрахунків, розглядаються проблеми сумісної роботи процесів паралельної програми та їх синхронізації. Реалізація синхронних або асинхронних паралельних процесів з використанням бібліотек MPI / OpenMP, стандартними засобами мов програмування C++, C# для розподілених обчислень.
Мета та цілі дисципліни	Метою нормативної дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» є формування необхідного рівня теоретичної і практичної підготовки студентів для грамотного використання ними знань основ паралельних та розподілених обчислень при освоєнні суміжних дисциплін та у майбутній професійній діяльності, а також формування знань для організації ефективного розв'язку великих задач на комп'ютерах з паралельною архітектурою.
Література для вивчення дисципліни	<i>Основна література</i> <ol style="list-style-type: none"> 1. Аксак Н.Г. Паралельні та розподілені обчислення : підруч./ Н. Г. Аксак, О. Г. Руденко, А. М. Гуржій. – Х. :Компанія СМІТ, 2009. – 480с. 2. C++ Concurrency in Action /Second Edition Anthony Williams 2019, 592p. 3. J. Sanders, E. Kandrot. CUDA by Example. An Introduction to General-Purpose GPU Programming. Addison-Wesley - Boston. July 2010. 4. R. Hochberg. Matrix Multiplication with CUDA. A basic introduction to the CUDA programming model. Cambridge University Press, August 11, 2012. 5. David B. Kirk, Wen-mei Hwu. Programming Massively Parallel Processors. A Hands-on Approach. - Published by Elsevier Inc. - 2010.

	<p>6. Distributed Computing. Principles, Algorithms, and Systems /Ajay D. Kshemkalyani, Mukesh Singhal/ Cambridge University Press 2008, 756p</p> <p>7. Parallel Algorithms /M H Alsuwaiyel (Editor-in-Chief: D T Lee (Academia Sinica, Taiwan)) 2022 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 400p.</p> <p><i>Допоміжна література</i></p> <p>1. Качко О.Г. Паралельне програмування. – Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2016. – 403 с.</p> <p>2. Жуков І., Корочкін О. Паралельні та розподілені обчислення – К.: Корнійчук, 2005. – 226 с.</p>
Обсяг курсу	4 кредитів ЄКТС – 120 годин. З них 32 години лекцій, 32 години лабораторних занять та 56 годин самостійної роботи
Очікувані результати навчання	<p>Після завершення цього курсу студент буде:</p> <p><i>знати</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • засоби та можливості середовища програмування, зокрема, щодо паралельних обчислень з використанням багатьох потоків • засади паралельного програмування з використанням обчислювальних можливостей графічних процесорів; • призначення та влаштування базових структур даних і алгоритмів для опрацювання даних з технологіями CUDA та OpenCL. <p><i>вміти</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • писати та налагоджувати ефективні комп'ютерні програми мовою C++ та іншими мовами програмування з використанням паралельних обчислень для підвищення швидкодії відомих алгоритмів опрацювання даних; • оголошувати та використовувати масиви потоків чи завдань(Thread, Task); • використовувати та доповнювати засоби бібліотеки STL; • реалізовувати алгоритми розподілених обчислень на обчислювальному кластері ЛНУ.
Компетентності	<p><i>Інтегральна:</i> Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі комп'ютерних наук або у процесі навчання, що передбачають застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.</p> <p><i>Загальні (ЗК):</i></p> <p>ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.</p> <p>ЗК3. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.</p> <p>ЗК7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>ЗК8. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).</p> <p>ЗК9. Здатність працювати в команді.</p> <p>ЗК12. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.</p> <p>СК2,3,4,6,7,8,10,11,16</p> <p><i>Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):</i></p> <p>СК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.</p> <p>СК8. Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.</p> <p>СК9. Здатність реалізувати багаторівневу обчислювальну модель на основі архітектури клієнт-сервер, включаючи бази даних, знань і сховища даних, виконувати розподілену обробку великих наборів даних на кластерах стандартних серверів для забезпечення обчислювальних потреб користувачів, у тому числі на хмарних сервісах.</p> <p>СК16. Здатність реалізовувати високопродуктивні обчислення на основі хмарних сервісів і технологій, паралельних і розподілених обчислень при розробці й експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації.</p>

Програмні результати навчання	<p>ПР9. Розробляти програмні моделі предметних середовищ, вибирати парадигму програмування з позицій зручності та якості застосування для реалізації методів та алгоритмів розв'язання задач в галузі комп'ютерних наук.</p> <p>ПР17. Виконувати паралельні та розподілені обчислення, застосовувати чисельні методи та алгоритми для паралельних структур, мови паралельного програмування при розробці та експлуатації паралельного та розподіленого програмного забезпечення.</p>		
Ключові слова	<p>Паралельні обчислення, розподілені обчислення, кластер, паракомп'ютер, програма мовою C++, прискорення та ефективність паралельного алгоритму, ґрід, мультипроцесор, мультикомп'ютер, закон Амдалла.</p>		
Формат курсу	<p>Очний.</p>		
Теми	Лекції		
	Тиж- день	Номер, назва і зміст теми	К- сть год.
	1	<p>Мета, задачі та цілі паралельної обробки даних</p> <p>Самостійна робота</p>	2 3
	2	<p>Принципи побудови паралельних структур обчислювальних систем. Способи розпаралелювання та організація обчислень у багатопроцесорних системах.</p> <p>Самостійна робота</p>	2 4
	3	<p>Приклади паралельних обчислювальних систем. Суперкомп'ютери. Кластери. Класифікація обчислювальних систем. Мультипроцесори. Мультикомп'ютери</p> <p>Самостійна робота</p>	2 3
	4	<p>Закон Амдала. Мережний закон Амдала. Класифікація багатопроцесорних систем. Класи багатопроцесорних систем. Технічна реалізація багато-процесорних систем. Системи з масовим паралелізмом.</p> <p>Самостійна робота</p>	2 4
	5	<p>Моделювання паралельних алгоритмів. Алгоритм і його представлення. Форми запису алгоритму. Граф алгоритму. Топологічне сортування. Модель обчислень у вигляді графа «операції—операнди». Модель паралельного алгоритму. Показники ефективності паралельного алгоритму. Модель паралельного програмування. Розробка паралельних алгоритмів. Проектування комунікацій.</p> <p>Самостійна робота</p>	2 3
	6	<p>Оцінка комунікаційної трудомісткості паралельних алгоритмів</p> <p>Самостійна робота</p>	2 4
	7	<p>Загальна характеристика механізмів передачі даних</p> <p>Самостійна робота</p>	2 3
	8	<p>. Паралельні алгоритми сортування. Обробка графів. Паралельне узагальнення базової операції сортування. Бульбашкове сортування. Сортування Шелла. Швидке сортування. Знаходження мінімально охоплюючого дерева. Пошук найкоротших шляхів. Класи задач, які можуть бути ефективно векторизовані або розпаралелені</p> <p>Самостійна робота</p>	2 4
	9	<p>Паралельні чисельні алгоритми Обчислення сум послідовності числових значень. Множення матриці на вектор. Матричне множення. Паралельні методи розв'язання СЛАР Макроопераційний аналіз алгоритмів розв'язання задач. Організація паралелізму на основі розподілу даних.</p> <p>Самостійна робота</p>	2 3
	10	<p>Паралельні та мережні технології розв'язання задач лінійного програмування. Основи методу. Метод прямого перебору при розв'язанні задач лінійного програмування. Паралельний аналог «симплекс-методу». Паралельне розв'язання задачі цілочисельного лінійного програмування.</p> <p>Самостійна робота</p>	2 4
	11	<p>Паралельні методи розрахунку транспортної мережі Прямий перебір та аналог «симплекс-методу» для розв'язку транспортної задачі без обмежень пропускну здатності комунікацій. Транспортна задача з обмеженнями пропускну здатності комунікацій. Паралельний алгоритм знаходження максимального потоку в мережі.</p>	2

	Самостійна робота	3
12	Паралельні обчислювальні методи. Паралельні перетворення математичних виразів. Базові алгоритми паралельних обчислень. Паралельні методи розв'язання систем нелінійних рівнянь. Паралельні методи розв'язання лінійних і диференційних рівнянь. Паралельна реалізація методу скінченних різниць	2
	Самостійна робота	4
13	Технології паралельного й розподіленого програмування. Кластерне програмування PVM Історія PVM. Класичні моделі паралелізму, підтримувані системою PVM. Застосування PVM. Бібліотека PVM для мови C++. Компіляція, компонування C++/PVM-програм і її виконання. Вимоги до PVM-програм. Об'єднання динамічної C++-бібліотеки з бібліотекою PVM. Базові механізми PVM. Доступ до стандартного вхідного потоку (stdin) і стандартного вихідного потоку (stdout) з боку PVM-задач.	2
	Самостійна робота	3
14	Технологія MPI MPICH — основна реалізація MPI. Конфігурування й засоби запуску в MPICH. Налаштування проекту при роботі з середовищем MPICH.	2
	Самостійна робота	4
15	Бібліотека MPE Загальна організація MPI. Похідні типи даних MPI. Запуск та налаштування середовища MPICH.	2
	Самостійна робота	3
16	OpenMP: зручний спосіб для розпаралелювання додатків. Функції бібліотеки OpenMP Змінні оточення OpenMP. Компіляція. Налаштування. Продуктивність. Ключові точки. Приклади. Розпаралелювання циклів. Мінімізація додаткових часових витрат на розпаралелювання. Програмування, орієнтоване на продуктивність.	2
	Самостійна робота	4
Всього:		32
Лабораторні роботи		
	Номер, назва і зміст теми	К-сть год. ТЗН
	1. Способи розпаралелювання та організація обчислень.	2 ПК
	2. Керування об'єктами у C#.	2 ПК
	3. Багатопотокове програмування у .NET. Керування потоками у .NET	2 ПК
	4. Паралельні алгоритми сортування. Бульбашкове сортування, сортування Шелла, швидке сортування.	4 ПК
	5. Паралельне програмування роботи з матрицями. Множення матриці на вектор. Матричне множення.	4 ПК
	6. Паралельна реалізація алгоритмів розв'язання СЛАР	2 ПК
	7. Паралельне розв'язання задачі лінійного програмування. Паралельний аналог симплекс методу.	2 ПК
	8. Розв'язання задач на графах(Дейкстра, Флойда, Пріма) паралельними методами.	2 ПК
	9. Основи кластерного програмування. Використання технології MPI.	2 ПК
	10. Програмування на графічних процесорах за технологіями CUDA та OpenCL	2 ПК
	11. Організація передачі/прийому повідомлень між окремими процесами засобами MPI. Колективні операції між процесами у MPI.	2 ПК
	12. Зв'язок Grid і веб-технологій. Доступ до Grid засобами веб. Розроблення Grid-застосувань.	4 ПК
	Всього	32
Підсумковий контроль, форма	іспит в кінці семестру	
Питання на іспит	1. У чому полягають основні способи досягнення паралелізму? 2. Як визначається модель "операція - операнди"?	

3. Як формулюється закон Амдаля? Який аспект паралельних обчислень дозволяє врахувати цей закон?
4. Які основні етапи проектування та розробки методів паралельних обчислень?
5. Які класи систем відомі для мультикомп'ютерів?
6. Як визначаються поняття прискорення і ефективності?
7. Як визначається функція ізоефективності?
8. У чому полягають основні дії на етапі масштабування наявного набору підзадач?
9. Наведіть приклади lock-free структур даних.
10. Для чого використовують метод detach() для потоків?
11. У чому можуть полягати відмінності паралельних обчислювальних систем?
12. Як визначається розклад для розподілу обчислень між процесорами?
13. Які припущення використовуються для обґрунтування закону Густавсона-Барсіса?
14. Як визначається модель "підзадачі-повідомлення"?
15. У чому полягають позитивні і негативні сторони кластерних систем?
16. Чи можливе досягнення надлінійного прискорення?
17. Який алгоритм є масштабованим? Наведіть приклади методів з різним рівнем масштабованості.
18. Які основні характеристики мереж передачі даних?
19. Робота потоків у фоновому режимі. Що це?
20. Управління завданнями в пулі потоків.
21. Що покладено в основу класифікації Флінна?
22. Як визначається час виконання паралельного алгоритму?
23. Як визначається функція ізоефективності?
24. Як визначається модель "процеси-канали"?
25. Які топології мереж передачі даних найбільш широко використовуються при побудові багатопроцесорних систем?
26. У чому полягає суперечливість показників прискорення і ефективності?
27. Як формулюється закон Амдаля? Який аспект паралельних обчислень дозволяє врахувати цей закон?
28. Які основні етапи проектування та розробки методів паралельних обчислень?
29. Опрацювання залежностей завдань в пулі потоків.
30. Lock-based паралельні структури даних.
31. У чому полягає принцип поділу багатопроцесорних систем на мультипроцесори і мультикомп'ютери?
32. Як визначити мінімально можливий час вирішення завдання?
33. Який алгоритм є масштабованим? Наведіть приклади методів з різним рівнем масштабованості.
34. Які основні вимоги повинні бути забезпечені при розробці паралельних алгоритмів?
35. У чому полягають особливості мереж передачі даних для кластерів?
36. Як визначається поняття вартості обчислень?
37. Як визначається модель "підзадачі-повідомлення"?
38. Атомарні операції в C++.
39. Операції синхронізації, типи і характеристики.
40. Які класи систем відомі для мультипроцесорів?
41. Що розуміється під паракомп'ютером і для чого може виявитися корисним дане поняття?
42. У чому полягають основні дії на етапі виділення підзадач?

	<p>43. Які основні характеристики мереж передачі даних?</p> <p>44. У чому полягає поняття вартісно-оптимального алгоритму?</p> <p>45. Як визначається функція ізоефективності?</p> <p>46. Як визначається модель "процеси-канали"?</p> <p>47. Атомарні типи в C++.</p> <p>48. Передача аргументів до функції потоку.</p> <p>49. У чому полягають позитивні і негативні сторони симетричних мультипроцесорів?</p> <p>50. Які залежності можуть бути отримані для часу паралельного рішення задачі при збільшенні або зменшенні кількості використовуваних процесорів?</p> <p>51. Які основні дії на етапі визначення інформаційних залежностей?</p> <p>52. Які системні платформи можуть бути використані для побудови кластерів?</p> <p>53. У чому полягає проблема розпаралелювання послідовного алгоритму підсумовування числових значень?</p> <p>54. Який алгоритм є масштабованим? Наведіть приклади методів з різним рівнем масштабованості.</p> <p>55. Які основні вимоги повинні бути забезпечені при розробці паралельних алгоритмів?</p> <p>56. Модель пам'яті в C++.</p>
<p>Пререквізити</p>	<p>Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з дисциплін "Програмування", "Алгоритми та структури даних", "Теорія алгоритмів", "Архітектура обчислювальних систем", "Комп'ютерні мережі".</p>
<p>Навчальні методи та техніки, які використовують під час викладання курсу</p>	<p>Лекції з мультимедійними презентаціями та з демонстрацією прийомів практичного використання середовища програмування; лабораторні заняття у вигляді проектування алгоритмів і програм, виконання практичних завдань, у тому числі у команді з 3-4 осіб; самостійне опрацювання навчальних матеріалів: підручників, конспектів лекцій, додаткових навчальних посібників, розміщених у хмарному сховищі (Moodle, Microsoft Teams). Обговорення теоретичного та практичного матеріалу в онлайн сервісах, формулювання творчих завдань для студентів, виконання яких готує до вивчення нового теоретичного матеріалу.</p>
<p>Необхідне обладнання</p>	<p>Для проведення лекцій: комп'ютер, проектор, доступ до мережі інтернет. Для проведення лабораторних та виконання завдань: комп'ютер, ОС Windows/Linux, доступ до інтернету, середовище програмування мовою C++ (Microsoft Visual Studio, Code Blocks тощо), доступ до кластера ЛНУ з відповідним програмним забезпеченням. Уся література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надана викладачем виключно в освітніх цілях без права її передачі третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих.</p>
<p>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</p>	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою. 50 балів нараховують за виконання лабораторних завдань і контрольних робіт, ще 50 балів – за виконання екзаменаційного завдання. Лабораторні завдання можуть бути індивідуальні та командні. Упродовж семестру студент виконує 10 лабораторних робіт, кожна з яких оцінюють 5 балів. Додаткові бали будуть зараховані учасникам Всеукраїнської студентської олімпіади з програмування (відповідно до кількості розв'язаних задач).</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і лабораторні заняття курсу. Активність під час проведення лекцій і лабораторних заохочується балами. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків визначених для виконання усіх видів письмових робіт, передбачених курсом. Виконані роботи завантажують у відповідне хмарне сховище. Альтернативою відвідування лабораторних занять в університеті може бути дистанційна онлайн робота за розкладом проведення занять. Активність на лекціях і лабораторних ураховують при оцінюванні відповідного лабораторного завдання.</p>

	<p>Академічна доброчесність: очікується, що роботи студентів будуть їхнім оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів, здавання чужих комп'ютерних програм як своїх становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману. Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Опитування	<p>Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано після завершення курсу.</p>