

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

Затверджено

На засіданні
кафедри інформаційних систем
факультету прикладної математики та
інформатики
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 1 від 28.08. 2023 р.)



Завідувач кафедри

Георгій ШИНКАРЕНКО

Силабус з навчальної дисципліни
“Паралельні обчислення та засоби їх реалізації”,
що викладається в межах ОПП Інформатика
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 122 – комп’ютерні науки

Львів 2023 р.

Назва дисципліни	Паралельні обчислення та засоби їх реалізації
Адреса викладання дисципліни	Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка м. Львів, вул. Університетська 1
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Факультет прикладної математики та інформатики Кафедра інформаційних систем
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	12 – інформаційні технології 122 – комп'ютерні науки
Викладачі дисципліни	Яджак Михайло Степанович, професор кафедри інформаційних систем, доктор фіз.-мат. наук (лекції та лабораторні заняття)
Контактна інформація викладачів	mykhailo.yadzhak@lnu.edu.ua; yadzhak_ms@ukr.net. Головний корпус ЛНУ ім. І. Франка, каб. м. Львів, вул. Університетська, 1
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій/лабораторних занять (за попередньою домовленістю).
Сторінка курсу	https://ami.lnu.edu.ua/course/paralelni-obchyslennia-ta-zasoby-ikh-realizatsii
Інформація про дисципліну	Дисципліна “Паралельні обчислення та засоби їх реалізації” є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми Інформатика, яка викладається в 7-му семестрі в обсязі 5-ти кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення вибіркової дисципліни “Паралельні обчислення та засоби їх реалізації” є одержання студентами знань і навичок, які потрібні для організації та реалізації паралельних обчислень під час розв'язання алгоритмічно складних задач на сучасних обчислювальних засобах – багатоядерних комп'ютерах і кластерних системах. Завданням вивчення дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок для розпаралелювання ациклічних та циклічних ділянок алгоритмів і програм; навчання студентів розробляти та реалізовувати паралельні алгоритми, досліджувати їх прискорення та ефективність.
Коротка анотація дисципліни	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з основами теорії паралельних обчислень, необхідними для розробки та ефективною реалізації паралельних алгоритмів з використанням сучасних апаратних та програмних засобів. Тому в дисципліні подано як архітектурні особливості сучасних паралельних систем, так і основні підходи до побудови паралельних алгоритмів для реалізації на цих системах. Значна частина курсу присвячена практичному застосуванню методів розпаралелювання обчислень та оцінюванню паралельних алгоритмів.

<p>Література для вивчення дисципліни</p>	<p>Основна література.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень. – Ужгород: ПП «АУТДОР–Шарк», 2021. – 188 с. 2. Минайленко Р. М. Паралельні та розподілені обчислення: навч. посібник. – Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2021. – 153 с. 3. Рейтинговий список найпотужніших обчислювальних систем світу. – Режим доступу: www.top500.org. 4. Rauber T., Runger G. Parallel Programming Models. In: Parallel Programming. Springer, Cham, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28924-8_3. 5. Yadzhak M. S. Parallel algorithms for data digital filtering // Cybernetics and Systems Analysis. – 2023. – Vol. 59, N 1. – P. 39–48. <p>Додаткова література.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Малашонок Г. І., Сідько А. А. Паралельні обчислення на розподіленій пам'яті: OpenMPI, Java, Math Partner: підручник. – Київ: НаУКМА, 2020. – 266 с. 2. Поліщук О. Д., Яджак М. С. Моделі та методи комплексного дослідження складних мережевих систем та міжсистемних взаємодій. – Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2023. – 385 с. 3. Поліщук О. Д., Яджак М. С. Мережеві структури та системи: IV. Паралельне опрацювання результатів неперервного моніторингу // Системні дослідження та інформаційні технології.–2019.–№ 2.–С.105–114. 4. Polishchuk O. D., Yadzhak M. S. Optimization of interactive evaluation of operation efficiency of the city's transport system by methods of U-statistics //ArXiv: 2212. 14560 [physics.soc-ph]. – 30 Dec 2022. https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.14560.
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг: 150 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 16 год. лекцій та 32 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 102 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - підходи до побудови ярусно-паралельної форми алгоритму обчислень; - принципи конвеєризації обчислень; - рівні розпаралелювання обчислень; - проблему розпаралелювання циклів; - методи паралелепіпедів, гіперплощин та пірамід для розпаралелювання циклів; - основні типи сучасних паралельних обчислювальних систем; - класифікації паралельних обчислювальних систем (за Флінном, за Хокні, класифікацію суперкомп'ютерів, V-класифікацію); - нетрадиційні підходи до розробки паралельних обчислювальних систем; - підходи до оцінювання асимптотичної продуктивності паралельних систем; - компоненти комунікаційного середовища паралельних обчислювальних систем; - програмні засоби реалізації паралельних алгоритмів обчислень; - паралельні алгоритми обчислення рекурсії, розв'язання різних варіантів задач цифрової фільтрації даних; <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - будувати ярусно-паралельну форму алгоритму обчислень; - розпаралелювати циклічні фрагменти алгоритмів і програм; - будувати паралельні алгоритми розв'язання деякої задачі;

	<ul style="list-style-type: none"> - реалізувати паралельний алгоритм на доступних високопродуктивних обчислювальних системах; - оцінювати прискорення та ефективність паралельного алгоритму обчислень. <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей: ІК, ЗК7, СК2, СК6, СК9, СК16 та програмних результатів навчання: ПР9, ПР17.</p>
Ключові слова	Паралельний алгоритм, прискорення алгоритму, паралельна обчислювальна система, конвеєризація, векторизація, продуктивність, комунікаційне середовище, класифікація обчислювальних систем.
Формат курсу	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.
Теми	Теми подані по схемі курсу нижче.
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці першого семестру у формі усного опитування.
Пререквізити	Для вивчення дисципліни студенти потребують базових знань з курсів «Методи комп'ютерних обчислень», «Програмування», «Теорія алгоритмів», «Дискретна математика».
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентації, лекції, модульний контроль. Індивідуальні завдання.
Необхідне обладнання	Багатоядерний комп'ютер із програмним забезпеченням Visual Studio 2022.
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <p>Оцінювання знань студентів проводиться протягом семестру за такими видами робіт:</p> <p>індивідуальні завдання (20 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 20);</p> <p>контрольні роботи (50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50);</p> <p>опитування на практичних заняттях (30 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 30).</p> <p>Загалом протягом семестру 100 балів.</p> <p>Письмові роботи: Очікується, що студенти виконають чотири письмові роботи (два індивідуальні завдання та дві контрольні роботи).</p> <p>Академічна добросовісність: Очікується, що роботи студентів будуть їх оригінальними дослідженнями чи міркуваннями. Відсутність посилань на використані джерела, фабрикування джерел, списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недобросовісності. Виявлення ознак академічної недобросовісності в письмовій роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів плагіату чи обману.</p> <p>Відвідання занять є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції та практичні заняття курсу. Студенти повинні інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-</p>

	<p>якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися термінів, визначених для виконання всіх видів письмових робіт та індивідуальних завдань, передбачених курсом.</p> <p>Література. 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>Політика виставлення балів. Враховуються бали набрані при поточному тестуванні, самостійній роботі та бали підсумкового тестування. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час практичного заняття; недопустимість пропусків та запізнь на заняття, користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних з навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін.</p> <p>Жодні форми порушення академічної доброчесності не толеруються.</p>
Питання до заліку.	<p>Поняття паралельних обчислень.</p> <p>Області застосування та задачі паралельних обчислень.</p> <p>Рівні розпаралелювання.</p> <p>Засоби реалізації паралельних обчислень.</p> <p>Конвеєризація обчислень. Зачеплення конвеєрів операцій.</p> <p>Векторизація обчислень.</p> <p>Класифікації паралельних обчислювальних систем (за Фліном, за Хокні, класифікація суперкомп'ютерів, V-класифікація).</p> <p>Продуктивність паралельних обчислювальних систем.</p> <p>Довжина напівпродуктивності.</p> <p>Гіпотеза Мінського.</p> <p>Реальна продуктивність паралельних систем. Тест Linpack.</p> <p>Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури.</p> <p>Характерні особливості векторноконвеєрних систем.</p> <p>Характерні особливості векторнопаралельних систем.</p> <p>Компоненти комунікаційного середовища обчислювальної системи.</p> <p>Топології комунікаційних мереж.</p> <p>Моделі послідовних та паралельних обчислень.</p> <p>Прискорення та ефективність паралельного алгоритму.</p> <p>«Парадокс» паралелізму.</p> <p>Поняття графа алгоритму та ярусно-паралельної форми алгоритму.</p> <p>Основні методи розпаралелювання циклів (методи гіперплощин, паралелепіпедів, пірамід).</p> <p>Паралельні алгоритми розв'язання задачі цифрової фільтрації.</p> <p>Паралельні алгоритми обчислення рекурсії.</p>
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Схема курсу

Тиж-день	Тема, план, короткі тези	Форма діяльності (заняття)	Література. Ресурси в інтернеті	Години	Термін виконання
1	Тема 1. Вступ до паралельних обчислень (Поняття паралельних обчислень. Шляхи підвищення швидкодії	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 10	2 тижні

	ЕОМ. Галузі застосування та задачі паралельних обчислень. Рівні розпаралелювання.				
	Тема 1. Розпаралелювання ациклічних ділянок програми або алгоритму (Граф алгоритму. Ярусно-паралельна форма алгоритму. Проблема розпаралелювання алгебраїчних виразів).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
2	Тема 2. Розпаралелювання ациклічних ділянок програми або алгоритму (Спосіб подання графа алгоритму. Підхід до виявлення ярусів та побудови ярусно-паралельної форми алгоритму).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
3	Тема 2. Паралельні обчислювальні системи та їх класифікація (Засоби реалізації паралельних обчислень. Конвеєризація та паралелізм. Векторизація обчислень. Поняття архітектури паралельних обчислювальних систем. Основні напрямки розвитку паралельних систем).	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 15	2 тижні
	Тема 3. Конвеєризація обчислень (Поняття конвеєризації. Оцінка прискорення обчислень. Зачеплення конвеєрів операцій).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
4	Тема 4. Векторизація обчислень та паралелізм (Ступінь векторизації, середній ступінь векторизації. Ступінь паралелізму, середній ступінь паралелізму).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
5	Тема 3. Паралельні обчислювальні системи та їх класифікація (Структура сучасних векторноконвеєрних систем, SMP-систем та систем масового паралелізму (MPP-систем). Кластерні системи. Класифікація паралельних обчислювальних систем).	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 15	2 тижні
	Контрольна робота.	Лаб.	–	2	
6	Тема 5. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм (Простір ітерацій циклу. Залежності між ітераціями. Формулювання задачі розпаралелювання циклів. Методи розпаралелювання циклів).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
7	Тема 4. Продуктивність паралельних обчислювальних систем та оцінювання паралельних алгоритмів (Асимптотична продуктивність векторноконвеєрних, векторнопаралельних та багатопроцесорних систем. Довжина напівпродуктивності. Реальна продуктивність паралельних систем. Середній ступінь паралелізму. Прискоре-	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 15	2 тижні

	ння та ефективність паралельного алгоритму).				
	Тема 6. Метод паралелепіпедів для розпаралелювання циклів (Вибір найефективнішого способу розбиття простору ітерацій на підмножини).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
8	Тема 7. Метод гіперплощин для розпаралелювання циклів (Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
9	Тема 5. Компоненти комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи (Мережеві адаптери. Комунікаційна мережа. Мережеві комутатори. Топології комунікаційних мереж).	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 15	2 тижні
	Тема 8. Метод пірамід для розпаралелювання циклів (Оцінка прискорення. Недоліки методу та можливі шляхи їх усунення).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
10	Тема 9. Модифікація методу пірамід (Спеціальні оператори обміну між гілками).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
11	Тема 6. Статичне та динамічне розпаралелювання послідовних програм та алгоритмів (Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання. Основні етапи розпаралелювання ациклічних ділянок. Розпаралелюючий компілятор).	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 10	2 тижні
	Тема 10. Модифікація методу пірамід (Синхронізація обчислень та конвеєрний запуск «обрізаних» пірамід).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
12	Контрольна робота.	Лаб.	–	2	
13	Тема 7. Паралельні алгоритми обчислення рекурсії (Лінійна рекурсія. Алгоритм паралельного каскадного сумування. Алгоритм циклічної редукції).	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 10	2 тижні
	Тема 11. Одновимірна задача цифрової фільтрації та паралельні алгоритми її розв'язання (Синхронна та асинхронна схеми обчислень. Використання методу гіперплощин).	Лаб.	[1–5]	2	1 тиждень
14	Колоквіум.	Лаб.	–	2	
15	Тема 8. Паралельні алгоритми розв'язання варіантів задачі цифрової фільтрації даних.	Лекція, самостійна робота	[1–5]	2 12	2 тижні
	Колоквіум.	Лаб.	–	2	
16	Залік.	Лаб.	–	2	