

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 № 2 від 10.09.2024 р.)



В.о. завідувача кафедри

Віталій ГОРЛАЧ

Силабус з навчальної дисципліни
“Паралельні алгоритми: побудова та аналіз”,
що викладається в межах ОПІ Інформатика
другого (магістерського) рівня вищої освіти для здобувачів з
спеціальності 122 – комп’ютерні науки

Львів 2024 р.

Назва дисципліни	Паралельні алгоритми: побудова та аналіз
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. 260 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-alhorytmy-pobudova-ta-analiz
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є вибірковою дисципліною з спеціальності 122 – комп'ютерні науки для освітньої програми Інформатика, яка викладається в 2-му семестрі в обсязі 4,5-х кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Мета та цілі дисципліни	Метою вивчення вибіркової дисципліни «Паралельні алгоритми: побудова та аналіз» є одержання студентами знань і навичок, які потрібні для побудови ефективних паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач на сучасних обчислювальних засобах – багатоядерних комп'ютерах і кластерах. Завданням вивчення дисципліни є формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок для побудови та дослідження паралельних алгоритмів розв'язання алгоритмічно складних задач; навчання студентів здійснювати оптимізацію паралельних алгоритмів за швидкодією, використанням пам'яті та обсягом необхідного обладнання, розробляти паралельні алгоритми, орієнтовані на реалізацію на обчислювальних засобах нетрадиційної архітектури.
Коротка анотація дисципліни	Навчальну дисципліну розроблено таким чином, щоб ознайомити студентів з основними положеннями теорії паралельних обчислень, необхідними для розробки та дослідження паралельних алгоритмів з використанням сучасних апаратних та програмних засобів. Тому в дисципліні подано як основні методи розпаралелювання обчислень, так і показано їх застосування під час розв'язання конкретних обчислювальних задач. У курсі також розглядаються деякі обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні масиви, квазісистолічні структури, системи зі структурно-процедурною організацією обчислень, нейрокомп'ютери, машини потоків даних).

<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. 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. 3. Яджак М. С. Деякі паралельні алгоритми розв’язання задач цифрової фільтрації // Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. «Математика в сучасному технічному університеті», Київ, 27–28 грудня 2019 р. – Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2020. – С. 172–176. 4. Rauber T., Rünger 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 // <u>Cybernetics and Systems Analysis</u>. – 2023. – Vol. 59, N 1. – P. 39–48. <p>Додаткова література.</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Качко О.Г. Паралельне програмування.– Харків: ХНУРЕ, 2016.– 403 с. 7. Яджак М. С. Паралельні алгоритми розв’язання просторової задачі цифрової фільтрації даних // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2017. – 7, № 3. – С. 234–239. 8. Яджак М. С., Тютюнник М. І., Бекас Б. О. Апаратні засоби реалізації паралельно-конверсних алгоритмів цифрової фільтрації з використанням адаптивного згладжування // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.6. – С. 335–344. 9. Dongarra J., Abalenkovs M., Abdelfattah A., Gates M., Haidar A., Kurzak J., Luszczek P., Tomov S., Yamazaki I. & YarKhan A. Parallel Programming Models for Dense Linear Algebra on Heterogeneous Systems // Supercomputing Frontiers and Innovations. – 2016. – 2(4). P. 67–86. https://doi.org/10.14529/jsfi150405. 10. http://eprints.library.odeku.edu.ua/695/1/RolshchikovVB_Distributed_Systems_Technology_And_Parallel_Computing_Module_1_KL_2018.pdf.
<p>Обсяг курсу</p>	<p>Загальний обсяг: 135 годин. Аудиторних занять: 48 год., з них 16 год. лекцій та 32 години лабораторних занять. Самостійної роботи: 87 год.</p>
<p>Очікувані результати навчання</p>	<p>Після завершення цього курсу студент буде :</p> <p>знати:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основні поняття теорії паралельних алгоритмів; - особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи; - основні методи синтезу паралельних алгоритмів; - паралельні алгоритми для розв’язання задач цифрової фільтрації, що використовують синхронну та асинхронну схеми обчислень; - паралельні алгоритми для розв’язання алгоритмічно складних задач лінійної алгебри; - систолічні алгоритми фільтрації даних; - деякі паралельні алгоритми опрацювання зображень; - паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (систолічні, квазісистолічні, зі структурно-процедурною організацією обчислень, потоків даних, нейромережеві); <p>вміти:</p> <ul style="list-style-type: none"> - знаходити середній ступінь паралелізму числового алгоритму; - будувати алгоритми з обмеженим паралелізмом та автономними гілками;

	<ul style="list-style-type: none"> - будувати і оцінювати систолічні та квазісистолічні алгоритми обчислень; - знаходити прискорення та ефективність паралельного алгоритму; - порівнювати паралельні алгоритми за швидкістю; - оптимізувати систолічні масиви. <p>Курс забезпечує набуття таких компетентностей: ІК, ЗК 1, ЗК 2, ЗК 5, ЗК 7, СК 1, СК 3, СК 5, СК 6, СК 7, СК 12 та програмних результатів навчання: ПРН 1, ПРН 5, ПРН 10, ПРН 11, ПРН 16, ПРН 17.</p>																																				
Ключові слова	Паралельний алгоритм, прискорення обчислень, конвеєризація, систолічні масиви, квазісистолічні системи, ефективність паралельного алгоритму, нейронні мережі, обмежений паралелізм, цифрова фільтрація даних.																																				
Формат курсу	Очний. Проведення лекцій, лабораторних занять і консультацій.																																				
Теми	Теми подані по схемі курсу нижче.																																				
Підсумковий контроль, форма	Залік у кінці другого 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, ОС Microsoft Windows XP/7/10/11, офісні пакети MS Office 365 і LibreOffice, пакет «Деканат», програми Zoom і MS Teams.																																				
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	<p>Оцінювання проводиться за 100-бальною шкалою.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Оцінка за шкалою ECTS</th> <th rowspan="2">Оцінка в балах</th> <th colspan="2">Оцінка за національною шкалою</th> <th rowspan="2">залік</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Екзамен, диференційований залік</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Відмінно</td> <td>100 - 90</td> <td>Відмінно</td> <td>5</td> <td rowspan="5">зараховано</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Дуже добре</td> <td>81 - 89</td> <td rowspan="2">Добре</td> <td rowspan="2">4</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Добре</td> <td>71 - 80</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Задовільно</td> <td>61 - 70</td> <td rowspan="2">Задовільно</td> <td rowspan="2">3</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Достатньо</td> <td>51 - 60</td> </tr> <tr> <td>FX (F)</td> <td>Незадовільно</td> <td>0 - 50</td> <td>Незадовільно</td> <td>2</td> <td>не зараховано</td> </tr> </tbody> </table>	Оцінка за шкалою ECTS		Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік	Екзамен, диференційований залік		A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано	B	Дуже добре	81 - 89	Добре	4	C	Добре	71 - 80	D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3	E	Достатньо	51 - 60	FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано
Оцінка за шкалою ECTS					Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою		залік																													
		Екзамен, диференційований залік																																			
A	Відмінно	100 - 90	Відмінно	5	зараховано																																
B	Дуже добре	81 - 89	Добре	4																																	
C	Добре	71 - 80																																			
D	Задовільно	61 - 70	Задовільно	3																																	
E	Достатньо	51 - 60																																			
FX (F)	Незадовільно	0 - 50	Незадовільно	2	не зараховано																																

Оцінювання знань студентів проводиться протягом семестру за такими видами робіт:
 індивідуальні завдання (20 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 20) – завдання № 1-2 по 10 балів за кожне;
 контрольні роботи (50 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 50) – дві роботи по 25 балів за кожну;
 опитування на лабораторних заняттях (30 % семестрової оцінки, максимальна кількість балів 30).

Критерії оцінювання індивідуальних завдань № 1-2:

№ 1-2 (10балів)	Критерії оцінювання
10 балів	студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, відповідає на всі запитання, пов'язані з тематикою завдання; проводить чіткий аналіз та порівняння отриманих результатів;
8-9 балів	студент повністю виконав умови завдання, алгоритм реалізовано правильно, на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з незначними неточностями; проводить аналіз отриманих результатів з незначними неточностями;
6-7 балів	студент виконав завдання з незначними помилками, але самостійно їх виправляє, якщо на них вкаже викладач; на деякі запитання, пов'язані з тематикою завдання, відповідає з неточностями; проводить аналіз отриманих результатів з неточностями;
4-5 балів	студент виконав завдання частково, алгоритм реалізовано з помилками, які частково може виправити, якщо на них вкаже викладач; на запитання відповідає з помилками, проводить аналіз отриманих результатів з помилками;
1-3 бали	студент виконав завдання частково або з грубими помилками, які самостійно не може виправити, переважно не відповідає на запитання;
0 балів	студент не виконав завдання.

Критерії оцінювання контрольних робіт №1-2 (кожна містить 3 завдання: 2 – на 8 б. та 1 – на 9 б.):

завдання на 8 б.:

- 8 б. – завдання виконане правильно;
- 5-7 б. – завдання виконане з незначними помилками на кінцевому етапі;
- 1-4 б. – завдання виконане частково або з грубими помилками;
- 0 б. – завдання не виконане;

завдання на 9 б.:

- 9 б. – завдання виконане правильно;
- 6-8 б. – завдання виконане з незначними помилками на кінцевому етапі;
- 3-5 б. – завдання виконане частково або з помилками;
- 1-2 б. – завдання виконане частково та з грубими помилками;
- 0 б. – завдання не виконане.

	<p>Критерії оцінювання результатів опитування на лабораторних заняттях (за семестр 6 запитань по 5 балів кожне):</p> <p>запитання на 5 балів:</p> <p>5 б. – відповідь на запитання чітка і правильна;</p> <p>4 б. – відповідь має окремі неточності;</p> <p>3 б. – відповідь на запитання не повна або має помилки;</p> <p>2 б. – відповідь з грубими помилками;</p> <p>1 б. – відповідь не зовсім стосується поставленого запитання;</p> <p>0 б. – студент не відповідає на запитання.</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, фабрикавання 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-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 добросовісності не толеруються.</p>
<p>Питання до заліку.</p>	<p>Поняття паралельного алгоритму.</p> <p>Паралельно-конвеєрне опрацювання інформації. Оцінка прискорення обчислень.</p> <p>Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму.</p> <p>Синхронна та асинхронна схеми обчислень.</p> <p>Ступінь паралелізму алгоритму.</p> <p>Прискорення та ефективність паралельного алгоритму.</p> <p>Основні компоненти комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи.</p> <p>Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання.</p> <p>Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів.</p> <p>Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі.</p>

	<p>Обчислювальні системи систолічного типу.</p> <p>Обчислювальні машини потоку даних.</p> <p>Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень.</p> <p>Нейрокомп'ютери.</p> <p>Систолічні алгоритми.</p> <p>Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення.</p> <p>Розпаралелювання методів розв'язування СЛАР.</p> <p>Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з обмеженим паралелізмом. Оцінка прискорення.</p> <p>Алгоритми цифрової фільтрації з автономними гілками. Оцінка прискорення обчислень.</p> <p>Паралельні алгоритми опрацювання зображень.</p> <p>Паралельні алгоритми та забезпечення режиму реального часу під час розв'язування алгоритмічно складних задач.</p> <p>Порівняння паралельних алгоритмів за швидкодією.</p> <p>Модифікації методу пірамід для розпаралелювання циклів.</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)	Літера- тура. Ресурси в інтернеті	Годи- ни	Термін вико- нання
1	Тема 1. Вступ до курсу (Поняття паралельного алгоритму. Автономні та зв'язані гілки паралельного алгоритму. Синхронна та асинхронна схеми обчислень. Оцінювання ступеня паралелізму алгоритму. Прискорення та ефективність паралельного алгоритму).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні
	Тема 1. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації (Конвеєризація. Прискорення конвеєризованих обчислень).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
2	Тема 2. Зачеплення конвеєрів операцій та паралельно-конвеєрне опрацювання інформації (Паралельна робота конвеєрів. Оцінка прискорення обчислень).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
3	Тема 2. Особливості комунікаційного середовища паралельної обчислювальної системи (Вплив на ефективну реалізацію паралельного алгоритму. Широкомасштабні та локальні комунікаційні мережі. Швидкі та повільні обміни між вузлами мережі. Мережі з фіксованою топологією та ре-	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні

	конфігуровні мережі. Регулярні і нерегулярні мережі).				
	Тема 3. Паралельні алгоритми розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
4	Тема 4. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів (Ідея методу гіперплощин. Обмеження на оператори тіла циклу. Приклади застосування методу).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
5	Тема 3. Підходи до розпаралелювання послідовних алгоритмів і програм (Автоматичне та автоматизоване розпаралелювання. Основні етапи розпаралелювання ациклічних і циклічних ділянок програм та алгоритмів).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні
	Тема 5. Розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації з використанням методу гіперплощин для розпаралелювання циклів (Застосування методу до розв'язання задачі фільтрації. Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
6	Тема 6. Метод пірамід для розпаралелювання циклів, його недоліки та можливості модифікації (Суть методу, деякі способи усунення недоліків).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
7	Тема 4. Деякі загальні методи синтезу паралельних алгоритмів (Поняття дрібнозернистого та крупнозернистого алгоритмів. Сильнозв'язані та слабозв'язані задачі).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні
	Контрольна робота.	Лаб.	–	2	
8	Тема 7. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів (Оцінка складності та прискорення паралельних алгоритмів).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
9	Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язання алгоритмічно складних задач (Розпаралелювання матрично-векторного добутку та матричного множення. Розпаралелювання ітераційного методу Якобі та методу виключення Гаусса для розв'язання СЛАР. Розпаралелювання методу Ейлера для розв'язання задачі Коші).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні
	Тема 8. Розв'язання одновимірної задачі фільтрації з використанням методу пірамід для розпаралелювання циклів (Алгоритми з обмеженим	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень

	паралелізмом. Оцінка прискорення).				
10	Тема 9. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід (Організація обмінів між гілками).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
11	Тема 6. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (Систолічні обчислювальні системи. Квазісистолічні обчислювальні системи та їх застосування).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 10	2 тижні
	Тема 10. Розпаралелювання циклічних ділянок алгоритмів або програм: модифікації методу пірамід (Конвеєрний запуск «обрізаних» пірамід).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
12	Тема 11. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації (Синхронна та асинхронна схеми обчислень).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
13	Тема 7. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури (Нейромережеві обчислювальні системи. Обчислювальні машини потоку даних. Асоціативні обчислювальні машини. Системи зі структурно-процедурною організацією обчислень).	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 13	2 тижні
	Тема 12. Паралельні алгоритми розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації (Алгоритми з автономними гілками. Обмежений паралелізм).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
14	Тема 13. Систолічні алгоритми обчислень та їх оцінювання (Прискорення та ефективність алгоритмів).	Лаб.	[1–10]	2	1 тиждень
15	Тема 8. Двовимірні задачі цифрової фільтрації та опрацювання зображень.	Лекція, самостійна робота	[1–10]	2 14	2 тижні
	Контрольна робота.	Лаб.	–	2	
16	Залік.	Лаб.	–	2	