Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
(назва навчально-наукового інституту / факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук
_____ О. В. Ангельський
_____ 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

ОК26. Високопродуктивні обчислення в мобільних і вбудованих КС
(назва навчальної дисципліни)

обов'язкова
(вказати: обов'язкова / вибіркова)

Освітньо-професійна програма Програмування мобільних і вбудованих комп'ютерних систем та засобів Інтернету речей
(назва програми)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(вказати: код, назва)

Галузь знань 12 Інформаційні технології
(вказати: шифр, назва)

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(вказати: перший бакалаврський/другий магістерський)

фізико-технічних та комп'ютерних наук
(назва факультету/ навчально-наукового інституту,
на якому здійснюється підготовка фахівців за вказаною освітньо-професійною програмою)

Мова навчання українська

Чернівці 2022 рік

Робоча програма навчальної дисципліни

ОК26. Високопродуктивні обчислення в мобільних і вбудованих КС

(назва навчальної дисципліни)

складена відповідно до освітньо-професійної програми

Програмування мобільних і вбудованих комп'ютерних систем та засобів Інтернету речей,

(назва освітньо-професійної програми)

123 Комп'ютерна інженерія,

(код та назва спеціальності)

12 Інформаційні технології, 30 червня 2022 р..

(галузь знань: шифр та назва; дата останнього затвердження)

Розробники: Яковлєва Інна Дмитрівна, доцент кафедри КСМ, кандидат техн. наук

Лісовенко Ірина Дмитрівна, асистент кафедри КСМ

(П.І.Б. авторів, посада, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджено на засіданні кафедри *комп'ютерних систем та мереж*

Протокол № 1 від "29" серпня 2022 року

Завідувач кафедри _____ *(Воробець Г.І.)*

(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено методичною радою навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

Протокол № 1 від "31" серпня 2022 року

Голова методичної ради навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук

_____ (Струк Я. М.)

(підпис) (прізвище та ініціали)

© Чернівецький національний університет , 2022 рік
© Чернівецький національний університет , 2023 рік

1. Мета навчальної дисципліни

Мета: формування необхідного рівня теоретичної і практичної підготовки студентів для формування знань з основ високопродуктивних паралельних та розподілених обчислень для організації ефективного розв‘язку великих задач в мобільних і вбудованих КС, а також грамотного використання ними цих знань у майбутній професійній діяльності та при освоєнні суміжних дисциплі.

2. Результати навчання

У **результаті** вивчення навчальної дисципліни студент повинен

2.1. Знати: ключові поняття і принципи організації високопродуктивних паралельних та розподілених обчислень; основні тенденції розвитку ПОС; парадигми паралельного програмування; засоби програмування систем паралельних обчислень зі спільною та розподіленою пам’яттю; критерії продуктивності паралельних алгоритмів, методи їх проектування і оцінки їх складності; тенденції розвитку науки та техніки в галузі створення паралельних систем обробки даних; фактори, що впливають на продуктивність паралельних програм; критерії вибору програмно-апаратної платформи для вирішення обчислювально-складних задач заданого класу.

2.2. Вміти: виконати аналіз паралельних можливостей вхідних задач, провести їх декомпозицію, побудувати паралельний алгоритм і розробити структуру програми для подальшого розв’язку на паралельній обчислювальній системі (ПОС); створити програму для ПОС, застосовуючи необхідну мову паралельного програмування; виконати оптимальне розміщення частин програми на процесорних вузлах ПОС з урахуванням топологічних особливостей комп’ютерної системи, забезпечивши мінімальний час обміну даними в системі; дослідити ефективність розробленої програми; оволодіти базовими навичками роботи з засобами паралельного програмування як для гомогенних так і для гетерогенних ПОС.

2.3. Набути компетентностей:

ЗК – загальних

ЗК 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
ЗК 3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК 7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
ЗК 8. Здатність працювати в команді.

СК - фахових

ФК2. Здатність використовувати сучасні методи і мови програмування для розроблення алгоритмічного та програмного забезпечення.
ФК3. Здатність створювати системне та прикладне програмне забезпечення комп’ютерних систем та мереж.
ФК11. Здатність оформляти отримані робочі результати у вигляді презентацій, науково-технічних звітів.
ФК13. Здатність вирішувати проблеми у галузі комп’ютерних та інформаційних технологій, визначати обмеження цих технологій.

ФК15. Здатність аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованих задач, критично оцінювати отримані результати, обґрунтовувати та захищати прийняті рішення.

ПРН - програмні результати навчання

ПРН2. Мати навички проведення експериментів, збирання даних та моделювання в комп'ютерних системах.

ПРН3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії.

ПРН4. Знати та розуміти вплив технічних рішень в суспільному, економічному, соціальному і екологічному контексті.

ПРН6. Вміти застосовувати знання для ідентифікації, формулювання і розв'язування технічних задач спеціальності, використовуючи методи, що є найбільш придатними для досягнення поставлених цілей.

ПРН7. Вміти розв'язувати задачі аналізу та синтезу засобів, характерних для спеціальності.

ПРН8. Вміти системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування нових ідей.

ПРН10. Вміти розробляти програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних систем, розраховувати, експлуатувати, типове для спеціальності обладнання.

ПРН11. Вміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.

ПРН12. Вміти ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди.

ПРН13. Вміти ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу комп'ютерних систем та їх компонентів.

ПРН14. Вміти поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціальності з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.

ПРН16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення

ПРН19. Здатність адаптуватись до нових ситуацій, обґрунтовувати, приймати та реалізовувати у межах компетенції рішення.

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Загальна інформація

азва навчальної дисципліни *ОК26 Високопродуктивні обчислення в мобільних і вбудованих КС*

Форма навчання	**Рік підготовки**	**Семестр**	**Кількість**			**Кількість годин**						**Вид підсумкового контролю**
			кредитів	**годин**	**змістових модулів**	**лекції**	**практичні**	**семінарські**	**лабораторні**	**самостійна робота**	**індивідуальні завдання**	
Денна	**4**	**7,8**	**6,0**	**180**	**4**	**42**			**54**	**84**		**залік (7), іспит (8)**

Заочна												

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 1,14 ((42+54)/84).

3.2. Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	**Кількість годин**											
	денна форма						**заочна форма**					
	усього	**у тому числі**					**усього**	**у тому числі**				
		л	**п**	**лаб**	**інд**	**с.р.**		**л**	**п**	**лаб**	**інд**	**с.р.**
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Змістовий модуль 1. Концепція високопродуктивних обчислень. Інтерфейс передачі повідомлень MPI												
Тема 1. Основи паралельних і розподілених обчислень. Базис паралельного програмування за допомогою інтерфейсу обміну повідомлень MPI	6	2		2		2						
Тема 2. Методологія парного міжпроцесного обміну MPI-повідомленнями	9	2		2		5						
Тема 3. Вплив топологій з’єднання процесорних елементів на ефективність паралельних обчислень.	9	2		2		5						
Тема 4. Принципи та засоби колективного обміну в інтерфейсі MPI.	9	2		2		5						
Тема 5. Групи процесів та комунікатори, їх роль в обміні повідомленнями	9	2		2		5						
Тема 6. Віртуальні топології в MPI.	13	4		4		5						
Разом за ЗМ1	55	14		14		27						
Змістовий модуль 2. Паралельні алгоритми												
Тема 7. Паралельні алгоритми, форми їх представлення та основні показники. Графові моделі програм	6	2		2		2						
Тема 8. Методи декомпозиції вхідних задач	9	2		2		5						
Тема 9. Принципи	9	2		2		5						

проектування паралельних алгоритмів												
Тема 10. Паралельні чисельні методи для розв'язку типових обчислювальних задач	13	4		4		5						
Тема 11. Оцінка ефективності паралельних алгоритмів. Закони Амдала.	7	2				5						
Тема 12. Мережі Петрі як засіб моделювання паралельних процесів	15	4		6		5						
Разом за ЗМ2	59	16		16		27						
Змістовий модуль 3. Організація і управління процесами та потоками												
Тема 13. Основи багатопотокового програмування. Стан процесів та система пріоритетів	11	2		4		5						
Тема 14. Взаємодія процесів через спільні змінні. Проблеми багатопотокового програмування та засоби синхронізації	11	2		4		5						
Тема 15. Моделювання взаємодії паралельних процесів за допомогою мереж Петрі	11	2		4		5						
Разом за ЗМ3	33	6		12		15						
Змістовий модуль 4. Гетерогенне паралельне програмування за допомогою бібліотек CUDA та OpenCL												
Тема 16. Технологія CUDA: архітектура, структура пам'яті, принципи організації обчислень	11	2		4		5						
Тема 17. Основи програмування за допомогою CUDA	11	2		4		5						
Тема 18. Фреймворк OpenCL та організація паралельних гетерогенних обчислень.	11	2		4		5						
Разом за ЗМ4	33	6		12		15						
Усього годин	180	42		54		84						

3.3. Теми практичних занять

В даному курсі виконання практичних завдань не передбачено.

3.4. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Вивчення операцій парного обміну повідомленнями між MPI-процесами.	4
2.	Знайомство з процедурами колективного обміну в MPI.	4
3.	Організація взаємодії паралельних MPI-процесів за заданою топологією з використанням команд парного обміну повідомленнями	4
4.	Паралельна реалізація алгоритмів сортування.	4
5.	Вивчення форм представлення паралельних алгоритмів	4
6.	Матричне представлення паралельних алгоритмів	4
7.	Розробка і дослідження паралельної програми на основі існуючої послідовної. Вивчення умов Бернстайна.	4
8.	Вивчення концепції машини потоків даних у мобільних та вбудованих КС.	4
9.	Вивчення основ багатопотокового програмування. Планування потоків.	6
10.	Вивчення засобів синхронізації потоків при багатопоковому програмуванні.	6
11.	Застосування багатопотокового програмування для розв’язку обчислювальних задач	6
12.	Вивчення основ технології програмування на графічних процесорах CUDA.	6
13.	Організація матричних CUDA-обчислень.	6
14.	Вивчення основ технології програмування на графічних процесорах OpenCL.	6
		54

Примітка. Методичні рекомендації та завдання до лабораторних робіт доступні на інтернет-ресурсах: : https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=1288

Програмне забезпечення для виконання лабораторних робіт: фреймворк OpenCL, платформа паралельних обчислень CUDA, інтерфейс передачі повідомлень MPI, середовище для розробки програм мовами C++/Python/ Java. Емулятор роботи мереж Петрі PetriNetwork 2.0.

3.5. Тематика індивідуальних завдань

В даному курсі виконання індивідуальних завдань не передбачено.*

* ІНДЗ – може бути рекомендовано в окремих випадках для студентів, які успішно освоїли основний навчальний матеріал, з метою поглибленого вивчення чи удосконалення матеріалів певного змістового модуля, або в цілому для навчальної дисципліни за рішенням кафедри чи викладача.

3.6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Паралелізм в інформаційних технологіях. Перспективи розвитку паралельних обчислень	7
2	Огляд та порівняння паралельних обчислювальних систем, які є лідерами списку TOP 500 з моменту його заснування.	7
3	Класи сучасних паралельних обчислювальних систем за М. Флінном, Р. Хокні, Фенгом, та В. Хендлером.	7
4	Паралельні мови програмування і розширення стандартних мов. Технології паралельного програмування.	7
5	Компілятори для розпаралелювання послідовних програм. Проблеми виявлення потенційного паралелізму	7
6	Порівняльна характеристика засобів паралельного програмування на графічних процесорах.	7
7	Асинхронна паралельність. Обчислювальні системи типу MIMD. Проблеми асинхронної паралельності при обробці інформації.	7
8	Синхронна паралельність. Обчислювальні системи типу SIMD. Проблеми синхронної паралельності при обробці інформації.	7
13	Типові шаблони паралельного програмування: SPMD (Single Program Multiple Data). Loop Parallelism. Master/Worker. Рекурсивний Fork/Join.	7
14	Алгоритми маршрутизації у мобільних та вбудованих КС. Методи передачі даних та аналіз трудомісткості його основних операцій.	7
15	Система Apache Spark. Паралелізм при обробці надвеликих даних, його застосування у мобільних КС.	7
16	Система MapReduce і обробка масштабних графів. Обмеження моделі MapReduce. Розширення і альтернативні підходи.	7
		84

4. Форми і методи навчання

Форми навчання – це проблемні й оглядові лекції, лабораторні заняття, заняття із застосуванням комп'ютерної та телекомунікаційної техніки, інтерактивні заняття з навчанням одних студентів іншими, інтегровані заняття, проблемні заняття, відеолекції, відеозаняття і відеоконференції засобами Google Meet, Zoom, Cisco Webex, заняття з використанням системи електронного навчання Moodle.

Методи: проблемний виклад матеріалу, частково-пошукові та дослідницькі лабораторні практикуми, презентації, кейс-стаді, консультації і дискусії, робота в інтернет-класі: електронні лекції, лабораторні роботи, дистанційні консультації та ін., спрямовані на активізацію і стимулювання навчально-пізнавальної діяльності студентів.

Підходи до навчання: використовуються студентоцентрований, проблемно-орієнтований, діяльнісний, комунікативний, професійно-орієнований, міждисциплінарний підходи.

Для викладання матеріалів з навчальної дисципліни «Високопродуктивні обчислення в мобільних і вбудованих КС» використовуються наступні методи навчання.

Реалізація навчального процесу здійснюється під час лекційних, лабораторних занять, самостійної позааудиторної роботи з використанням сучасних інформаційних технологій навчання, консультацій з викладачами.

Для **формувань уміння та навичок** застосовуються такі **методи навчання**:

- вербальні/словесні *(лекція, пояснення, розповідь, бесіда, інструктаж)*;
- наочні *(спостереження, ілюстрація, демонстрація)*;
- практичні *(проведення практики)*;
- пояснювально-ілюстративний або інформаційно-рецептивний, який передбачає пред'явлення готової інформації викладачем та її засвоєння студентами*;*
- репродуктивний *(виконання лабораторних завдань за зразком).*

4.1. Словесні методи навчання. Навчальна лекція

За допомогою даного методу забезпечується усне викладення матеріалу великими ємністю й складністю логічних побудов, доказів і узагальнень. В ході лекції використовуються прийоми усного викладення інформації, підтримання уваги протягом тривалого часу, активізації мислення студентів, прийоми забезпечення логічного запам'ятовування, переконання, аргументації, доказів, класифікації, систематизації і узагальнення. В залежності від специфіки лекційного матеріалу іноді використовується лекція-діалог.

4.2. Індуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних занять, коли матеріал носить, здебільшого, фактичний характер. В рамках лабораторних занять метод застосовується при виконанні технічних задач, коли студенти використовують раніше здобуті теоретичні знання при роботі з конкретними пристроями (комп'ютерами) та програмними продуктами.

4.3. Репродуктивний метод навчання

Даний метод навчання використовується в рамках лекційних і лабораторних занять, а також під час самостійної роботи студентів. Метод передбачає роботу студентів за визначеним алгоритмом. Згідно з методом для виконання завдань студентам надаються методичні вказівки, правила і навчальні приклади.

4.4. Проблемно-пошукові методи навчання

Проблемно-пошукові методи застосовуються в ході проблемного навчання, а саме в процесі виконання лабораторних робіт та індивідуальних науково-дослідних завдань, де під проблемною ситуацією треба вважати невідповідність між тим, що вивчається і вже вивченим. При використанні проблемно-пошукових методів навчання викладач використовує такі прийоми: створює проблемну ситуацію (ставить питання, пропонує задачу, експериментальне завдання), організує колективне обговорення можливих підходів до рішення проблемної ситуації, стимулює висування гіпотез, тощо. Студенти роблять припущення про шляхи вирішення проблемної ситуації, узагальнюють раніше набуті знання, виявляють причини явищ, пояснюють їхнє походження, вибирають найбільш раціональний варіант вирішення проблемної ситуації. Викладач обов'язково керує цим процесом на всіх етапах, а також за допомогою запитань-підказок. Також даний метод використовується при опрацюванні матеріалів в системі дистанційної освіти «Moodle».

4.5. Наочний метод навчання

Наочний метод достатньо важливий для студентів, оскільки забезпечує візуальне подання навчального матеріалу, зокрема, з використанням інформаційно-комунікаційних технологій. При викладанні дисципліни наочний метод навчання поєднується зі словесними методами для представлення інформації у вигляді таблиць, рисунків, схем та діаграм.

5. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	**Оцінка за шкалою ECTS**	
	Оцінка (бали)	**Пояснення за розширеною шкалою**
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

6. Засоби оцінювання

Засобами оцінювання та демонстрування результатів навчання є

- контрольні роботи;
- стандартизовані тести;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- завдання на лабораторному обладнанні.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Формами поточного контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при захисті виконаних лабораторних робіт, кількість отриманих балів при виконанні тестового завдання, а також письмова відповідь при написанні модульних контрольних робіт.

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)														**Підсумк. контроль**	**Сумарна кількість балів**
Змістовий модуль 1							**Змістовий модуль 2**								
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	М1	Т7	Т8	Т9	Т10	Т11	Т12	М2	**(залік)**	
4	4	4	4	4	4	6	4	4	4	4	4	4	6	40	100
Змістовий модуль 3					**Змістовий модуль 4**										
Т13		Т14		Т15	М3	Т16		Т17		Т18		М4		**(іспит)**	
7		7		7	9	7		7		7		9		40	100

Т1, Т2 ... Т18 – теми змістових модулів; М1- М4 – модульні контрольні роботи

Формами підсумкового контролю рівня знань є усна та письмова відповідь студента при здачі іспиту.

8. Рекомендована література

Фахова (основна)

1. Лісовенко І.Д., Яковлєва І. Д. Навчальний посібник «Паралельні та розподілені обчислення». Чернівці: ЧНУ, 2022. 120 с. (електронне видання).
2. Лісовенко І.Д., Яковлєва І. Д. Паралельні та розподілені обчислення : лабораторний практикум. Частина 1. Чернівці : Чернівецький національний університет, 2022. 64 с. (електронне видання).
3. Лісовенко І.Д., Яковлєва І. Д. Паралельні та розподілені обчислення: лабораторний практикум. Частина 2. Чернівці : Чернівецький національний університет, 2022. 85 с. (електронне видання).
4. Мельник А. О., Яковлєва І. Д. Подання та структурний аналіз паралельних алгоритмів : навчальний посібник. Львів : Магнолія 2006, 2022. 109 с
5. Мельник А. О., Яковлєва І. Д. Структурний аналіз і синтез паралельних алгоритмів : монографія. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2018. 184 с.
6. Melnyk A., Iakovlieva I. Structural Matrix for Algorithm Flow Graph Representation in Computer, 2022 *12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2022, pp. 466-471, URL : https://doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913167 (date of access: 20.08.2022).
7. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень : навчальний посібник. Ужгород : ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.
8. Минайленко Р.М. Паралельні та розподілені обчислення : навч. посіб. — Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2021. 153 с.
9. Восс М., Асенхо Р., Рейндерс Дж. Паралельне програмування на C++ з допомогою бібліотеки TBB. К : ДМК Прес, 2020. 674 с.
10. Сандерс Дж., Кэндрот Ед. Технологія CUDA в прикладах. Введення в програмування графічних процесорів. К : ДМК Прес, 2017. 272с.

Допоміжна

1. Малашонок Г. І., Сідько А. А. Паралельні обчислення на розподіленій пам’яті : OpenMPI, Java, Math Partner : підручник. – Київ : НаУКМА, 2020. – 266 с
2. Семеренко В. П. Технології паралельних обчислень : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2018. 104 с.
3. Burns B. Designing Distributed Systems. Sebastopol : O’Reilly Media, 2018. 149 p.
4. Terrell R. Concurrency in .NET. Shelter Island: Manning, 2018. 534 p.
5. Steen M., Tanenbaum A. Distributed-systems. New York : Pearson Education. – 2017. – 596 с.
6. Troelsen A., Japikse P. Pro C# 7: With .NET and .NET Core. New York : APress. Inc., 2017. 1372 с.
7. Качко О.Г. Паралельне програмування : учбовий посібник. Харків : ХНУРЕ, 2016. 403 с.
8. Ringler R. C# Multithreaded and Parallel Programming. Birmingham : Packt Publishing, 2014. 323 p.
9. Herlihy M. The Art of Multiprocessor Programming. Reprint 1st Edition. Morgan Kaufmann Publication, 2012. 487 p.

9. Інформаційні ресурси

1. Thw List of Top 500 Supercomputers Sites. *TOP 500*. URL : http://www.top500.org (date of access: 20.08.2022).
2. Message Passing Interface Tutorials. *Lawrence Livermore National Laboratory*. URL : https://hpc-tutorials.llnl.gov/mpi/ (date of access: 20.08.2022).
3. The OpenMP API specification for parallel programming. *OpenMP*. URL : www.openmp.org (date of access: 20.08.2022).
4. Програми, дослідження, обчислення. *Nvidia*. URL : https://www.nvidia.com (дата звернення: 20.08.2022).
5. Using MPI with C. *GitHub*. URL : https://curc.readthedocs.io/en/latest/programming/MPI-C.html. (date of access: 20.08.2022).
6. MPI-resourses GitHub. *GitHub*. URL : https://github.com/mpitutorial/mpitutorial (date of access: 20.08.2022).
7. Курс лекцій з паралельних обчислень. URL : https://sites.google.com/site/parcomp2012/lectures (дата звернення: 20.08.2022).