

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії
/назва факультету/

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
/назва кафедри/

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

Ігор БАРАН

2024 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Паралельні та розподілені обчислення»
/назва дисципліни/

галузь знань 12 Інформаційні технології
/шифр і назва галузі знань/

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
/назва/

спеціальність 123 - Комп'ютерна інженерія
/шифр і назва/

освітня програма Комп'ютерна інженерія
/назва/

спеціалізація _____
/назва/

вид дисципліни обов'язкова
/обов'язкова / вибіркова/

Тернопіль - 2024 рік

Робоча програма з навчальної дисципліни

«Паралельні та розподілені обчислення»

/назва дисципліни/

для студентів факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

/назва факультету(ів)/

Розробники:

доцент

/посада, науковий ступінь та вчене звання/

/підпис/

/Андрій ЛУЦКІВ/

/ім'я та прізвище/

/посада, науковий ступінь та вчене звання/

/підпис/

/ім'я та прізвище/

Робоча програма розглянута та схвалена

на засіданні кафедри комп'ютерних систем та мереж

/назва/

Протокол від « 27 » серпня 2024 року № 2

Завідувач кафедри

/підпис/

/Галина ОСУХІВСЬКА/

/ім'я та прізвище/

Робоча програма розглянута та схвалена НМК

факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Протокол від « 02 » вересня 2024 року № 1

Секретар НМК

/підпис/

/Богдана МЛИНКО/

/ім'я та прізвище/

Робоча програма погоджена:

Спеціальність 123 - Комп'ютерна інженерія

/шифр і назва/

освітня програма Комп'ютерна інженерія

/назва/

Завідувач випускової кафедри

/підпис/

/Галина ОСУХІВСЬКА/

/ім'я та прізвище/

Гарант освітньої програми

/підпис/

/Андрій ПАЛАМАР/

/ім'я та прізвище/

1. Структура навчальної дисципліни

Показник	Всього годин	
	(денна форма навчання)	(заочна форма навчання)
Кількість кредитів/годин	5,0 / 150	5,0 / 150
Аудиторні заняття, год.	64	18
Самостійна робота, год.	86	132
Аудиторні заняття:		
• лекції, год.	32	10
• лабораторні заняття, год.	32	8
• практичні заняття, год.	-	-
• семінарські заняття, год.	-	-
Самостійна робота:		
підготовка до лабораторних занять	30	22
опрацювання лекційного матеріалу	16	32
опрацювання окремих розділів програми, які не виносяться на лекції	24	48
виконання контрольних завдань	-	-
виконання індивідуальних завдань	-	-
виконання курсових проектів (робіт)	-	-
підготовка та складання заліків, екзаменів, контрольних робіт, рефератів, есе, тестування	30	30
Екзамен	Е	Е
Залік	-	-

Частка годин самостійної роботи студента:

денна форма навчання – 57%.

заочна форма навчання – 88%.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

2.1. Мета вивчення навчальної дисципліни.

Метою викладання дисципліни є формування знань у студентів з теорії обчислювальних систем, комплексів та мереж, методів паралельної обробки даних та мов програмування, які підтримують паралельне програмування, формування навичок і умінь розробки, відлагодження та супроводу паралельних та розподілених програм для їх роботи в паралельних та розподілених, зокрема, високопродуктивних комп'ютерних системах.

Дисципліна «Паралельні та розподілені обчислення» передбачає вивчення спеціалізованих засобів розробки паралельних та розподілених програм на мовах C/C++ (JAVA) з використанням технологій багатопотокового, паралельного та розподіленого програмування MPI, OpenMP, CUDA, OpenCL, а також PosixThreads. Курс дисципліни включає аудиторні заняття під керівництвом викладача, лабораторні заняття, а також самостійну роботу, що забезпечує вивчення і закріплення теоретичних основ, сприяє набуттю практичних навичок, забезпечує розвиток самостійного мислення студентів.

2.2. Завдання навчальної дисципліни.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати загально-методологічні принципи побудови сучасних комп'ютерних систем з різною організацією, для забезпечення високопродуктивної обробки інформації. Розуміти й відповідно до поставлених задач використовувати основні принципи розробки програмного забезпечення для КС з паралельною і розподіленою архітектурою та засобами сучасних мов та бібліотек паралельного програмування.

У результаті вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» *студент повинен здобути компетентності:*

Загальні:

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу

ЗК2. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

ЗК3. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК4. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово

ЗК7. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми

Спеціальні (фахові):

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

ФК7. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності

ФК12. Здатність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних та кіберфізичних систем, мереж та їхніх компонентів шляхом використання аналітичних методів і методів моделювання

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

ФК16. Здатність застосовувати підходи та принципи проєктування програмного забезпечення високопродуктивних та розподілених комп'ютерних систем, зокрема, хмарних сервісів, а також здійснювати їх супровід з урахуванням DevOps-практик

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування у студента таких **програмних результатів навчання (ПРН)** згідно освітньої програми:

ПРН1. Знати і розуміти наукові положення, що лежать в основі функціонування комп'ютерних засобів, систем та мереж

ПРН3. Знати новітні технології в галузі комп'ютерної інженерії

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

ПРН9. Вміти застосовувати знання технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж для вирішення технічних задач спеціальності

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

ПРН16. Вміти оцінювати отримані результати та аргументовано захищати прийняті рішення

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

ПРН20. Усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань, удосконалення креативного мислення

ПРН22. Вміти розробляти програмне забезпечення для паралельних високопродуктивних обчислювальних систем, а також здійснювати супровід таких систем з урахуванням принципів DevOps

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Лекційні заняття

№	Тема заняття та короткий зміст	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1	Тема 1. Огляд предметної області паралельних та розподілених обчислень 1.1. Приклади ресурсоємних обчислювальних задач. 1.2. Задачі опрацювання надвеликих обсягів даних (Data Mining, інженерія великих даних). 1.3. Поняття обчислювальної складності та оптимізація виконання ресурсоємних обчислювальних задач. 1.4. Векторні комп'ютери та паралельні комп'ютери. 1.5. Основні поняття паралелізму і векторизації.	2	0,5
2	Тема 2. Розпаралелення обчислювальних задач 2.1. Види декомпозиції обчислювальних задач. 2.2. Закони Амдала і Густавсона-Барсіса. 2.3. Типові способи оптимізації виконання програмного коду на апаратному забезпеченні.	2	0,5
3	Тема 3. Архітектури високопродуктивних обчислювальних систем та їх енергоефективність 3.1. Класифікації обчислювальних систем. 3.2. Енергоефективність високопродуктивних обчислювальних систем 3.3. Комунікаційні технології та топології високопродуктивних систем. 3.4. Організація спільного доступу до пам'яті у ПРКС. 3.5. Системи зберігання даних для організації високопродуктивних обчислень.	2	0,5
4	Тема 4. Системне ПЗ паралельних та розподілених систем і принципи його роботи 4.1. Основні поняття та моделі паралельного та розподіленого програмування. 4.2. Поняття потоку (Thread) і процесу (Process) й особливості їх виконання. 4.3. Забезпечення міжпроцесної взаємодії IPC (Interprocess Communication). 4.4. Розподіл пам'яті між процесами.	2	0,5

№	Тема заняття та короткий зміст	Кількість годин	
5	Тема 5. Створення багатопотокових програм 5.1. Механізми створення, планування, завершення потоків. 5.2. Контекстне перемикавання (Context Switching) та його вартість. 5.3. Проблеми конкурентного доступу до спільних даних (гонка даних, Deadlock, Livelock, Starvation) та забезпечення синхронізації: Mutex, Semaphore, Monitor, Barrier. Задача філософів, що обідають. 5.4. Критичні секції та взаємне виключення.	2	0,5
6	Тема 6. Засоби створення розподіленого ПЗ. 6.1. З'єднання на основі сокетів. 6.2. Технологія віддаленого виклику процедур. 6.3. Реалізація технології RPC на мові C в UNIX. 6.4. Технології JAVA RMI, gRPC, CORBA, XML-RPC, SOAP та інші XML-базовані.	2	0,5
7	Тема 7. Основні конструкції технології OpenMP 7.1. Основні принципи технології OpenMP. 7.2. Властивості середовища виконання OpenMP. 7.3. Бібліотечні функції OpenMP. 7.4. Директиви препроцесора #pragma.	2	0,5
8	Тема 8. Особливості технології OpenMP 8.1. Створення паралельних ділянок. 8.2. Розподіл роботи. 8.3. Синхронізація роботи потоків. Опис та розподіл даних.	2	0,5
9	Тема 9. Засоби створення розподіленого ПЗ призначення на основі обміну повідомленнями 9.1. Технології MPI, PVM, р4 та взаємодія у мікросервісах на основі черг повідомлень. 9.2. Основні принципи MPI. 9.3. Структура MPI-програми. 9.4. Точкові операції.	2	0,5
10	Тема 10. Колективна взаємодія процесів MPI 10.1. Групи і комунікатори. 10.2. Віртуальні топології. 10.3. Пересилання різнотипних даних.	2	0,5
11	Тема 11. Огляд технологій GPGPU 11.1. Архітектурні особливості систем на базі GPGPU та енергоефективність. 11.2. Огляд технологій програмування графічних процесорів Nvidia CUDA, AMD APP SDK, OpenMP, OpenACC та OpenCL. 11.3. Огляд бібліотек на базі технологій GPGPU	2	0,5

№	Тема заняття та короткий зміст	Кількість годин	
12	Тема 12. Технології Nvidia CUDA та OpenACC 12.1. Основні принципи та термінологія Nvidia CUDA 12.2. Засоби створення ПЗ у рамках технології CUDA та їх застосуванням 12.3. Основні принципи технології OpenACC	2	0,5
13	Тема 13. Основні конструкції та принципи роботи OpenCL. 13.1. Приклад простої програми з використанням OpenCL. 13.2. Типи паралелізму в OpenCL. 13.3. Керування порядком виконання завдань.	2	1
14	Тема 14. Модель пам'яті OpenCL та керування потоками. 14.1. Модель пам'яті OpenCL. 14.2. Ідентифікатори потоків (OpenCL-ядер). 14.3. Типи даних в OpenCL. 14.4. Розширення та макроси мови OpenCL. 14.5. Бібліотечні функції OpenCL. Операції порівняння.	2	1
15	Тема 15. Моделі консистентності пам'яті 15.1. Принципи створення розподілених системами 15.2. Типи консистентності пам'яті 15.3. CAP-теорема	2	1
16	Тема 16. Побудова систем опрацювання великих даних, машинного навчання та нейронних мереж 16.1. Модель MapReduce у Hadoop. 16.2. Spark для розподіленої обробки великих даних. 16.3. Архітектурні патерни для роботи з великими обсягами інформації. 16.4. Застосування GPU та TPU для задач машинного навчання та нейронних мереж. Паралельне навчання нейронних мереж.	2	1
	Усього годин	32	10

3.2. Лабораторні роботи

№	Тема заняття	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1	Створення прототипу паралельної та розподіленої комп'ютерної системи на основі Raspberry PI	2	1
2	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі потоків та процесів	4	1
3	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі сокетів	4	1
4	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі технологій виклику віддалених процедур	6	1
5	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ комп'ютерних систем зі спільною пам'яттю на основі OpenMP	4	1
6	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ комп'ютерних систем з розподіленою пам'яттю на основі MPI	6	1
7	Знайомство зі створенням програм з використанням GPGPU	6	2
Усього годин		32	8

3.3. Самостійна робота

№	Найменування робіт	Кількість годин	
		ДФН	ЗФН
1	Підготовка до лабораторних занять	16	22
1.1	Створення прототипу паралельної та розподіленої комп'ютерної системи на основі Raspberry PI	1	1
1.2	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі потоків та процесів	2	4
1.3	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі сокетів	2	4
1.4	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ на основі технологій виклику віддалених процедур	3	3
1.5	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ комп'ютерних систем зі спільною пам'яттю на основі OpenMP	2	2
1.6	Знайомство з засобами створення паралельного ПЗ комп'ютерних систем з розподіленою пам'яттю на основі MPI	3	4
1.7	Знайомство зі створенням програм з використанням GPGPU	3	4
2	Опрацювання лекційного матеріалу	16	32
3	Опрацювання окремих розділів програми, які не виносяться на лекції	24	48
3.1	Аналіз параметрів комп'ютерних систем зі списку TOP500: програмне та апаратне забезпечення	4	8
3.2	Засоби відлагодження паралельних програм	4	8
3.3	Реалізації моделей паралельного та розподіленого програмування в спеціалізованих комп'ютерних системах	4	8
3.4	Платформа Raspberry PI: особливості, апаратного та програмного забезпечення	4	8
3.5	Архітектура Apache Spark	4	8
3.6	Робота з бібліотеками BLAS, ATLAS, LAPACK, Intel MKL	4	8
4	Підготовка та складання тестових завдань, екзаменів	30	30
4.1	Модуль 1	10	10
4.2	Модуль 2	10	10
4.3	Екзамен	10	10
Усього годин		86	132

4. Критерії оцінювання результатів навчання студентів

За матеріалом кожного з двох модулів проводиться електронне тестування у електронному навчальному курсі на сервері дистанційного навчання dl.tntu.edu.ua.

Форма підсумкового семестрового контролю – екзамен.

Модуль 1			Модуль 2				
Аудиторна та самостійна робота			Аудиторна та самостійна робота				
Теоретичний курс (тестування)	Лабораторна робота		Теоретичний курс (тестування)	Лабораторна робота		Підсумкова семестрова оцінка	Разом з дисципліни
20	20		20	15		25	100
№ лекцій	Вид робіт	Бал	№ лекцій	Вид робіт	Бал		
Лекція 1	Лаб. роб. №1	5	Лекція 9	Лаб. роб. №5	5		
Лекція 2	Лаб. роб. №2	5	Лекція 10		5		
Лекція 3	Лаб. роб. №3	5	Лекція 11	Лаб. роб. №6	5		
Лекція 4			Лекція 12				
Лекція 5			Лекція 13				
Лекція 6	Лаб. роб. №4		Лекція 14	Лаб. роб. №7	5		
Лекція 7			Лекція 15				
Лекція 8			Лекція 16				

5. Навчально-методичне забезпечення

1. Конспект лекцій з дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» / уклад. Луцків А.М. –Тернопіль: НТУ імені Івана Пулюя, 2024. URL: <http://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=673>.

2. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» для студентів спеціальності 123

«Комп'ютерна інженерія» / уклад. Луцків А.М. –Тернопіль: НТУ імені Івана Пулюя, 2024. URL: <http://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=673>.

3. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів з дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» / уклад. Луцків А.М. –Тернопіль: НТУ імені Івана Пулюя, 2024. URL: <http://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=673>.

6. Рекомендована література

Базова:

1. Луцків А.М., Лупенко С.А., Пасічник В.В.. Паралельні та розподілені обчислення. - Львів: “Магнолія 2006”, 2024. - 566.

2. Коцовський В. М. Теорія паралельних обчислень: навчальний посібник. Ужгород: ПП «АУТДОР-Шарк», 2021. 188 с.

3. Минайленко Р.М. Паралельні та розподілені обчислення: навч. посіб. — Кропивницький: Видавець Лисенко В. Ф., 2021. — 153 с.

4. Корочкін О.В., Русанова О.В. Паралельні та розподілені обчислення. Вибрані розділи: Навч. посібник. [Електронний ресурс] / О.В. Корочкін, Русанова О.В. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 123 с

Допоміжна:

1. Глибовець М.М. Основи комп'ютерних алгоритмів.-К.: Вид.дім "КМ Академія", 2003.-452с.

2. Sedgewick R. Algorithms, 4th Edition / R. Sedgewick, K. Wayne// Addison-Wesley Professional. Boston, 2011. - 992 p.

3. Шпак З.Я. Програмування мовою С. - Львів: Оріяна-Нова, 2006. - 432с.

4. Мельник А. О., Мельник, В. А. Персональні суперкомп'ютери: архітектура, проектування, застосування. Монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 516 с.

5. Чураков А.Я. Архітектура ЕОМ / Чураков А.Я., Шаров С.В., Строкань О.В. / [за ред. Шарова С.В.]. – Мелітополь: РВЦ МДПУ, 2012. – 195 с.

6. Lutskev A., Popovych N. Big Data Approach to Developing Adaptable Corpus Tools. Computational Linguistics and Intelligent Systems. CEUR Workshop Proceedings. 4th Int. Conf. COLINS 2020. Lviv, Ukraine, April 23-24, 2020. P. 374-395.

7. Lutskev A., Popovych N. Big data-based approach to automated linguistic analysis effectiveness. IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing. August 21- 25, 2020, Lviv, Ukraine. 2020. P. 438–443.

7. Інформаційні ресурси

1. CUDA for ARM Platforms is Now Available. NVIDIA Developer Zone. URL: <https://developer.nvidia.com/content/cuda-arm-platforms-now-available>

2. Amazon Web Services HPC Applications URL: <http://aws.amazon.com/hpc-applications/>

3. Myricom — Extreme performance Ethernet URL: <http://www.myri.com/>

4. The InfiniBand Architecture Specification Download URL: http://www.infinibandta.org/content/pages.php?pg=technology_download
5. SLURM Quick Start User Guide URL: <https://computing.llnl.gov/linux/slurm/quickstart.html>
6. Ganglia Monitoring System URL: <http://ganglia.sourceforge.net/>
7. Intel Math Kernel Library. // Intel Developer Zone URL: <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-math-kernel-library-linpack-download>
8. CUDA Zone. URL: http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html.
9. Intel Parallel Studio URL: <http://software.intel.com/ru-ru/intel-parallel-studio-xe>
10. Eclipse Parallel Tools Platform (PTP) URL: <http://www.eclipse.org/ptp/>
11. Petron E. Remote Procedure Calls/ Ed Petron // URL: <http://www.linuxjournal.com/article/2204>
12. Chauhan D. Introduction to RPC on Windows: Part I / Digvijay Chauhan // URL: <http://www.aspfree.com/c/a/.NET/Introduction-to-RPC-on-Windows-Part-I/>
13. Chauhan D. Introduction to RPC on Windows: Part II / Digvijay Chauhan // URL: <http://www.aspfree.com/c/a/.NET/Introduction-to-RPC-on-Windows-Part-II/>
14. XML-RPC for C and C++. A lightweight RPC library based on XML and HTTP URL: <http://xmlrpc-c.sourceforge.net/>
15. Barney B. Message Passing Interface (MPI) / Blaise Barney// Lawrence Livermore National Laboratory URL: <https://computing.llnl.gov/tutorials/mpi/>
16. OpenMP 4.0 Complete Specifications URL: <http://openmp.org/wp/openmp-specifications/>
17. The OpenMP API specification for parallel programming, , <http://openmp.org/wp/openmp-specifications/>
18. CUDA Documents URL: <http://docs.nvidia.com/cuda/index.html>
19. CUDA C Programming Guide URL: <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html>
20. Електронний навчальний курс з дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» для студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» URL: <https://dl.tntu.edu.ua/bounce.php?course=673>.

8. Зміни та доповнення до робочої програми навчальної дисципліни

№	Зміст внесених змін (доповнень)	Дата і № протоколу засідання кафедри	Примітки	
1				
2				
3				
4				
5				