

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ЦЕНТР
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА СИСТЕМ
НАН УКРАЇНИ ТА МОН УКРАЇНИ**

ЗАТВЕРДЖЕНО
Директор Міжнародного науково-
навчального центру інформаційних
технологій та систем НАН та МОН
України

Олександр ВОЛКОВ
«23» квітня 2024 р

РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА

**З дисципліни «МЕТОДИ СТВОРЕННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ
СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ»**

Рівень вищої освіти третій
Ступінь вищої освіти доктор філософії
Галузь знань 12 – інформаційні технології
Спеціальність 122 – комп'ютерні науки

Шифр ДВА-5 Дисципліна за вибором аспіранта

Форма навчання _____ денна _____ Курс 2 Семестр 4


Всього годин /кредитів ЄКТС 90 /3,0 за навчальним планом

- лекції (Л) 22
- семінарські заняття (СЗ) 16
- практичні заняття (ПЗ) 0
- індивідуально-консультативна робота (ІКР) 2
- самостійна робота студентів (СРС) 50
- підсумковий контроль дисципліни – іспит

- м. Київ

Укладач(і) робочої навчальної програми:

доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу нейромережових технологій обробки інформації


_____ Дмитро РАЧКОВСЬКИЙ
(підпис)
e-mail: dar@infrm.kiev.ua

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми

Гарант освітньої програми  / Володимир СТЕПАШКО
(підпис)

Затверджено: Вченою радою Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 3 від 23.04.2024 р.

Вчений секретар Вченої ради


_____ Микола КОМАР

Ухвалено: Науково-методичною радою Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 2 від 15.04.2024 р.

Голова Науково-методичної ради


_____ Людмила КОЗАК

Ухвалено: Радою молодих вчених Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України
Протокол № 4 від 15.04.2024 р.

Голова Ради молодих вчених


_____ Дмитро ВОЛОШЕНЮК

Введено в дію наказом директора Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України № 57 від 23.04.2024 р.

1.ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найменування показників	Характеристика дисципліни за денною формою навчання
Вид дисципліни	Дисципліна за вибором аспіранта
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	3,0 / 90
Курс	2
Семестр	4
Кількість змістових модулів з розподілом:	3
Обсяг кредитів	3
Обсяг годин, в тому числі:	90
Лекції	22
Семінарські заняття	16
Практичні заняття	0
Індивідуально-консультативна робота	2
Самостійна робота	50
Форма підсумкового контролю	іспит

Дисципліна «Методи створення нейромережових систем штучного інтелекту» належить до дисциплін за вибором аспіранта та присвячена вивченню нейромережних підходів до подання та оброблення даних для інтелектуальних інформаційних технологій та систем. Дослідження в цьому напрямку тісно пов'язані з моделюванням елементів інтелектуальної діяльності людини, принципів та механізмів нейромережної організації мозку для побудови нейромережних архітектур. Основою нейромережного підходу є моделювання подання інформації в мозку. Нейромережний підхід привів до виникнення ідеї розподіленого подання інформації, яка є формою векторного подання, де кожен об'єкт (ознака, фізичний об'єкт, їх сукупність, відношення тощо) представлено сукупністю компонентів вектора, а окремий компонент вектора може належати поданням різних об'єктів. У дисципліні особливу увагу приділяють підходу до конструювання та застосування особливого типу розподіленого подання даних, відомого як векторно-символьні архітектури.

2. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Метою дисципліни «Методи створення нейромережових систем штучного інтелекту» є формування розуміння та вміння розробляти та використовувати нові підходи до нейромережного розподіленого векторного подання даних в інтелектуальних інформаційних технологіях та системах.

Основними завданнями є: 1) вивчення подання даних у системах штучного інтелекту, архітектур нейронних мереж та методів оброблення даних на основі нейронних мереж; 2) вивчення основ векторно-символьних архітектур, перетворення різних типів даних у розподілені векторні подання, що відображають структуру даних, їх застосувань у задачах пошуку та класифікації за схожістю, основ асоціативно-проективних нейронних мереж.

Інтегральна компетентність

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у сфері комп'ютерних наук, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а

також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності:

ЗК03. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми комп'ютерних наук на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору з дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності:

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерних науках та дотичних до них міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерних наук та суміжних галузей.

СК02. Здатність застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень у сфері комп'ютерних наук, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності.

СК03. Здатність виявляти, ставити та розв'язувати дослідницькі науково-прикладні завдання та/або вирішувати проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність аналізувати та оцінювати сучасний стан і тенденції розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

СК07. Здатність до створення та адекватного застосування інтелектуальних методів аналізу інформації та керування складними динамічними об'єктами різної природи.

СК09. Здатність до розвитку теорії, розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

СК10. Здатність до проведення наукових досліджень з інтелектуального оброблення, аналізу та інтерпретації інформації про об'єкти різної природи.

Програмні результати навчання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з комп'ютерних наук і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у комп'ютерних науках та дотичних міждисциплінарних напрямках.

PH06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

PH10. Відшукувати, оцінювати та критично аналізувати інформацію щодо поточного стану та трендів розвитку, інструментів та методів досліджень, наукових та інноваційних проєктів з комп'ютерних наук.

PH12. Здійснювати інтелектуальний аналіз електронних масивів даних для розв'язання конкретних практичних завдань, зокрема побудови нейронних мереж, комп'ютерних систем автоматичного керування, розв'язання задач штучного інтелекту, створення систем інтелектуального керування динамічними об'єктами у реальному часі.

PH13. Здійснювати розроблення нових методів та інтелектуальних засобів для розв'язання прикладних завдань з різних сфер, зокрема, технічної, економічної, екологічної, медичної, біологічної тощо.

PH16. Застосовувати методи побудови систем штучного інтелекту, визначати механізми використання знань про предметну область для виконання прикладних завдань на основі інтелектуальних інформаційних систем різної спрямованості.

3. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Номер лекції	Назва лекції	Кількість годин		
		Лекції	Семінарські /практичні заняття	Самостійна робота
ЗМ1: Нейронні мережі та подання даних (1 кредит)				
1	Основи моделювання нейронних мереж	2	2	6
2	Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань	2	2	6
3	Розподілене подання даних у застосуваннях	2	2	6
ЗМ2: Векторне-символьні архітектури (1 кредит)				
4	Основи векторне-символьних архітектур	2	2	4
5	Основні моделі векторне-символьних архітектур	2	2	4
6	Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах	2	2	4
7	Розв'язання завдань на основі векторне-символьних архітектур	2	0	4
ЗМ 3. Асоціативно-проєктивні нейронні мережі				
8	Основні операції у асоціативно-проєктивних нейронних мережах	2	0	4
9	Розподілена асоціативна пам'ять	2	0	4
10	Оброблення даних у асоціативно-проєктивних нейронних мережах	2	2	4

11	Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах	2	2	4
	ВСЬОГО	22	16	50

4. ПРОГРАМНИЙ МАТЕРІАЛ

Змістовий модуль 1. Нейронні мережі та подання даних

Тема 1. Основи моделювання нейронних мереж

Подання даних у нейронних мережах та у системах штучного інтелекту. Розподілене, локальне, символне подання даних. Міри схожості різних типів даних та оцінювання їхніх величин.

Моделі нейронів та нейронних мереж. Архітектури нейронних мереж. Навчання нейронних мереж з вчителем та без вчителя.

Тема 2. Оброблення даних та розв'язання завдань на основі схожості нейромережних подань.

Міркування на основі прикладів. Пошук за схожістю. Завдання класифікації.

Швидке оцінювання мір схожості різних типів даних. Швидке оцінювання мір схожості у евклідовому просторі. Швидке оцінювання неевклідових мір схожості векторів. Швидке оцінювання мір схожості бінарних векторів. Швидкий пошук за схожістю.

Міркування за аналогією. Моделі пошуку аналогів. Моделі відображення елементів аналогів.

Тема 3. Розподілене подання даних у застосуваннях

Розв'язання завдань пошуку за схожістю з застосуванням розподілених подань даних. Розв'язання завдань класифікації з застосуванням розподілених подань даних.

Пошук аналогів із застосуванням розподілених подань. Відображення елементів аналогів із застосуванням розподілених подань даних

Змістовий модуль 2. Векторне-символьні архітектури

Тема 4. Основи векторне-символьних архітектур

Проблеми подання даних у різних підходах до штучного інтелекту.

Основні операції у векторне-символьних архітектурах: суперпозиція та зв'язування. Мультиплікативне та перестановочне зв'язування.

Тема 5. Основні моделі векторне-символьних архітектур.

Holographic Reduced Representations. Binary Spatter Codes. Multiply-Add-Permute. Sparse Binary Distributed Representations.

Тема 6. Подання різних типів даних у векторне-символьних архітектурах

Подання різних типів даних. Подання множин та числових векторів у векторне-символьних архітектурах. Подання послідовностей та зображень у векторне-символьних архітектурах. Подання графів у векторне-символьних архітектурах.

Тема 7. Розв'язання завдань на основі векторно-символьних архітектур
Пошук за схожістю у векторно-символьних архітектурах.
Завдання класифікації та типи класифікаторів, які використовуються у векторно-символьних архітектурах.

Змістовий модуль 3. Асоціативно-проективні нейронні мережи

Тема 8. Основні операції у асоціативно-проективних нейронних мережах
Операції суперпозиції та зв'язування у асоціативно-проективних нейронних мережах. Різновиди операцій зв'язування. Контекстно-залежне проріджування.

Тема 9. Розподілена асоціативна пам'ять
Розподілена матрична авто-асоціативна пам'ять. Запамятовування та відтворення у розподіленій матричній авто-асоціативній пам'яті. Інформаційні характеристики розподіленої матричної автоасоціативної пам'яті.

Тема 10. Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах
Загальна архітектура асоціативно-проективних нейронних мереж. Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах за послідовної та паралельної схемами. Функціональні акти як основа моделювання інтелектуальної поведінки

Тема 11. Подання різних типів даних у асоціативно-проективних нейронних мережах

Типи розподіленого подання числових векторів у асоціативно-проективних нейронних мережах. Подання послідовностей та зображень у асоціативно-проективних нейронних мережах. Подання графів у асоціативно-проективних нейронних мережах.

5. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота охоплює:

- 1) підготовку до семінарських занять,
- 2) опрацювання наукової літератури,
- 3) підготовку до іспиту.

№ п/п	Зміст самостійної роботи	Обсяг СР (годин)
1.	Підготовка до семінарських занять	10
2.	Опрацювання наукової літератури	20
3.	Підготовка до іспиту	20
Усього за навчальною дисципліною		50

6. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Контроль знань аспірантів здійснюється на підставі Положення про організацію та проведення поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня.

Контроль знань аспірантів складається з двох складників: поточного і підсумкового/семестрового контролю результатів навчання здобувачів вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня. Кожний складник оцінюється за стобальною системою.

Загальна оцінка результатів за дисципліною (ЗО) розраховують:

$$ЗО = \kappa_1 * \text{ПоК} + \kappa_2 * \text{ПідК},$$

де κ_1 , κ_2 - коефіцієнти переведення балів поточного (ПоК) та підсумкового контролю (ПідК) відповідно; $\kappa_1 = 0,4$, $\kappa_2 = 0,6$.

Максимальна кількість балів у поточному контролі встановлюється таким чином:

Форми навчальної діяльності	Максимальна сумарна оцінка в балах
усне опитування	65
активна робота на заняттях	35
Всього	100

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної шкали оцінювання в національну шкалу та шкалу ECTS

За 100-бальною шкалою	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 - 100	відмінно	зараховано	A (відмінно)
81 - 90	добре		B (дуже добре)
71 - 80			C (добре)
66 - 70	задовільно		D (задовільно)
60 - 65			E (достатньо)
40 - 59	незадовільно	не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 - 39			F (неприйнятно – з обов'язковим повторним навчанням)

7. ОРІЄНТОВНИЙ ПЕРЕЛІК ЗАПИТАНЬ НА ЕКЗАМЕН

1. Розподілене, локальне, символічне подання даних
2. Міри схожості різних типів даних
3. Швидке оцінювання мір схожості у евклідовому просторі
4. Швидке оцінювання неевклідових мір схожості векторів
5. Швидке оцінювання мір схожості бінарних векторів
6. Навчання нейронних мереж з вчителем та без вчителя
7. Операції суперпозиції та зв'язування у різних моделях векторне-символьних архітектур
8. Подання множин та числових векторів у векторне-символьних архітектурах

9. Подання послідовностей та зображень у векторно-символьних архітектурах
10. Подання графів у векторно-символьних архітектурах
11. Загальна архітектура асоціативно-проективних нейронних мереж
12. Оброблення даних у асоціативно-проективних нейронних мережах за послідовної та паралельної схемами
13. Операції суперпозиції та зв'язування у асоціативно-проективних нейронних мережах
14. Подання послідовностей та зображень у асоціативно-проективних нейронних мережах
15. Подання структурованих даних у вигляди графів у асоціативно-проективних нейронних мережах
16. Моделі розподіленої авто-асоціативної пам'яті
17. Типи розподіленого подання числових векторів у асоціативно-проективних нейронних мережах
18. Міркування на основі прикладів, пошук за схожістю та завдання класифікації
19. Швидкий пошук за схожістю
20. Розв'язання завдань пошуку за схожістю із застосуванням розподілених подань даних
21. Розв'язання завдань класифікації з застосуванням розподілених подань даних
22. Пошук аналогів із застосуванням розподілених подань
23. Відображення елементів аналогів із застосуванням розподілених подань даних
24. Основні моделі векторно-символьних архітектур
25. Контекстно-залежне проріджування.
26. Типи класифікаторів, які використовуються у векторно-символьних архітектурах.
27. Модель векторно-символьної архітектури Multiply-Add-Permute.
28. Мультиплікативне та перестановочне зв'язування.
29. Міркування за аналогією.
30. Модель векторно-символьної архітектури Binary Spatter Codes.

8. ПОЛІТИКА ДОБРОЧЕСНОСТІ

Виконання навчальних завдань має відповідати вимогам Кодексу академічної доброчесності Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, затвердженого вченою радою Міжнародного центру 20 січня 2022 року, протокол № 1.

9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Kussul E.M., Baidyk T.N., Wunsch D.C. *Neural Networks and Micro Mechanics*.
2. Рачковський Д.А., Гриценко В.І. Розподілене подання векторних даних на основі випадкових проєкцій. Київ, 2018. 216 с.
3. Kleyko D., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rahimi A. A Survey on Hyperdimensional Computing aka Vector Symbolic Architectures, Part II: Applications, Cognitive Models, and Challenges. Accepted for publication at ACM Computing Surveys. 2022. ISSN: 0360-0300. Journal Impact Factor: 18.1. Available online as a preprint: arXiv:2112.15424.
4. Rachkovskij D.A., Kussul E. Binding and normalization of binary sparse distributed representations by context-dependent thinning. *Neural Computation*, 2001, vol. 13, no. 2. pp. 411–452.
5. Rachkovskij D.A., Kussul E.M., Baidyk T.N. Building a world model with structure-sensitive

sparse binary distributed representations. *Biologically Inspired Cognitive Architectures*. 2013. Vol. 3, pp. 64–86.

6. Rachkovskij D.A., Gritsenko V.I., Volkov O.Ye., Goltsev A.D., Revunova E.G., Kleyko D., Lukovich V.V., Osipov E. Neural Distributed Representations for Artificial Intelligence and Modeling of Thinking. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2022, 2(208), pp. 5–29.

Допоміжна:

7. Thorpe S. Localized versus distributed representations. *The Handbook of Brain Theory and Neural Networks*, edited by M.A. Arbib. Cambridge, MA: The MIT Press, 2003, pp. 643–646.
8. Kleyko D., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rahimi A. A Survey on Hyperdimensional Computing aka Vector Symbolic Architectures, Part I: Models and Data Transformations. Accepted for publication at ACM Computing Surveys. 2022. ISSN: 0360-0300. Journal Impact Factor: 18.1. Available online as a preprint: arXiv:2111.06077.
9. Gritsenko V.I., Rachkovskij D.A., Frolov A.A., Gayler R., Kleyko D., Osipov E. Neural distributed autoassociative memories: A survey. *Cybernetics and Computer Engineering*, 2017, 2(188), pp. 5–35.
10. Falkenhainer B., Forbus K.D., Gentner D. The structure-mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, 1989, vol. 41, pp. 1–63.
11. Thagard P., Holyoak K.J., Nelson G., Gochfeld D. Analog retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, 1990, vol. 46, no. 1–2, pp. 259–310.
12. Forbus K.D., Gentner D., Law K. MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, 1995, vol. 19, no. 2, pp.141–205.
13. Rachkovskij D.A. Representation and processing of structures with binary sparse distributed codes. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2001, vol. 13, no. 2, pp. 261–276.
14. Rachkovskij D.A. Some approaches to analogical mapping with structure sensitive distributed representations. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 2004, vol. 16, no. 3, pp. 125–145.
15. Rachkovskij D.A., Slipchenko S.V. Similarity-based retrieval with structure-sensitive sparse binary distributed representations. *Computational Intelligence*, 2012, vol. 28, no. 1, pp. 106–129.
16. Slipchenko S.V., Rachkovskij D.A. Analogical mapping using similarity of binary distributed representations. *Information Theories and Applications*, 2009, no. 3, pp. 269-290.
17. Kleyko D., Rahimi A., Rachkovskij D.A., Osipov E., Rabaey J.M. Classification and Recall with Binary Hyperdimensional Computing: Trade-offs in Choice of Density and Mapping Characteristics. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 29, no. 12, pp. 5880-5898, 2018. ISSN: 2162-237X.