

О. Г. Руденко
О. О. Безсонов
С. П. Євсєєв
О. Б. Ахієзер
Ю. І. Зайцев

004,032,26

W 94



ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ. НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ : архітектури, навчання, застосування

**У 2-х частинах
Частина 2**

Навчальний посібник



СЕРІЯ «КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ»

**За загальною редакцією
доктора технічних наук,
професора С. П. Євсєєва**





РУДЕНКО ОЛЕГ ГРИГОРІЙОВИЧ

доктор технічних наук, професор
Дата і місце народження: 1948 рік, м. Броди, Львівської обл.
Освіта: Харківський інститут радіоелектроніки, 1971
Посада: завідувач кафедри комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем Харківського національного університету радіоелектроніки
Коло наукових інтересів: інтелектуальна обробка інформації, обчислювальний інтелект
Публікації: автор понад 450 наукових публікацій, з них: 21 монографія, понад 200 наукових статей, понад 10 навчальних посібників
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Контактні телефони: +380677770229, +380954752171.
ORCID: 0000-0003-0859-2015
Scopus Author ID: 7005837246



БЕЗСОНОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

доктор технічних наук, професор
Дата і місце народження: 1982 рік, м. Харків, Харківської обл.
Освіта: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2004
Посада: професор кафедри комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем Харківського національного університету радіоелектроніки
Коло наукових інтересів: еволюційні обчислення, системи комп'ютерного зору, штучні нейронні мережі.
Публікації: автор понад 150 наукових публікацій, з них: 4 монографії, понад 100 наукових статей.
Контактний телефон: +380953078896.
ORCID: 0000-0001-6104-4275
Scopus Author ID: 57221227175



ЄВСЕЄВ СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ

доктор технічних наук, професор
Дата і місце народження: 1969 рік, м. Харцизьк, Донецької обл.
Освіта: Харківський військовий університет, 2002
Посада: завідувач кафедри кібербезпеки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"
Коло наукових інтересів: постквантова криптографія, штучний інтелект
Публікації: автор понад 340 наукових публікацій, з них: 10 монографій, понад 145 наукових статей, понад 30 навчальних посібників.
Контактні телефони: +380953606613, +380683986603.
ORCID: 0000-0003-1647-6444
Scopus Author ID: 57190440690



АХІЗСЕР ОЛЕНА БОРИСІВНА

кандидат технічних наук, професор Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ"), завідувач кафедри «Комп'ютерної математики і аналізу даних» НТУ "ХПІ", член «Східноєвропейського наукового товариства».
Автор понад 150 наукових та навчально-методичних праць, керівник збірної команди НТУ «ХПІ» з математики для участі у Всеукраїнських студентських олімпіадах з математики і програмування, науковий консультант IT-компанії «Cloud Work»



Зайцев Юрій Іванович

кандидат технічних наук, професор НТУ «ХПІ», вчений секретар НТУ «ХПІ», професор кафедри «Комп'ютерної математики і аналізу даних» НТУ "ХПІ".
Автор понад 100 наукових та навчально-методичних праць, науковий консультант IT-компанії «Cloud Work»

**Видавництво
ПП «Новий Світ-2000»**



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний університет»

О. Г. Руденко
О. О. Безсонов
С. П. Євсєєв
О. Б. Ахієзер
Ю. І. Зайцев

**ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.
НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ:
архітектури, навчання, застосування**

Навчальний посібник

У 2-х частинах

Частина 2

Серія «КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ»

За загальною редакцією доктора технічних наук, професора С. П. Євсєєва

Львів
«Новий Світ-2000»
2025

УДК 1004.032.26:004.0481:311.213.6

Н 46

Автори:

О. Г. Руденко — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Комп'ютерних інтелектуальних систем ХНУРЕ;

О. О. Безсонов — доктор технічних наук, професор, професор кафедри Комп'ютерних інтелектуальних систем ХНУРЕ;

С. П. Євсєєв — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Кібербезпеки НТУ «ХПІ»;

О. Б. Ахієзер — кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри Комп'ютерної математики і аналізу даних НТУ «ХПІ»;

Ю. І. Зайцев — кандидат технічних наук, доцент, вчений секретар НТУ «ХПІ».

Рецензенти:

С. Г. Удовенко — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Інформатики і комп'ютерної техніки ХНЕУ;

А. І. Купін — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Комп'ютерних систем та мереж Криворізьський національний університет.

Руденко О. Г. та ін.

Н 46 Штучний інтелект. Нейромережева обробка інформації : архітектури, навчання, застосування : навчальний посібник у 2-х ч. : Ч. 2 / О. Г. Руденко, О. О. Безсонов, С. П. Євсєєв, О. Б. Ахієзер, Ю. І. Зайцев.; за заг. ред. С. П. Євсєєва. – Харків : НТУ «ХПІ», – Львів : «Новий Світ-2000», 2025. – 376 с. – (Серія «Кібербезпека та штучний інтелект»).

ISBN 978-966-418-518-6

У другій частині посібника викладено основні принципи побудови та застосування сучасних штучних нейронних мереж (ШНМ), які дозволяють усунути недоліки традиційних методів синтезу та функціонування ШНМ - еволюційних ШНМ, когнітрона та неокогнітрона, що стали основою для створення та розвитку згорткових ШНМ, та самі згорткові мережі, які є ключовою технологією Deep Learning.

Завершується друга частина описом лабораторних робіт з курсу Нейромережева обробка інформації, які призначені затвердити отримані теоретичні знання.

Для студентів і магістрантів комп'ютерних спеціальностей вищих навчальних закладів, докторантів і науково-технічних співробітників, які займаються створенням сучасних способів обробки інформації.

УДК |004.032.26:004.0481:311.213.6

© Руденко О. Г., Безсонов О. О.,
Євсєєв С. П., Ахієзер О. Б.,
Зайцев Ю. І. 2025

© НТУ «ХПІ», 2025

© Видавництво ПП «Новий Світ-2000»,
ФОП Піча С. В., 2025

ISBN 978-966-418-518-6

ЗМІСТ

Розділ 12. НЕЙРОННА МЕРЕЖА СМАС.....	3
12.1. Біологічні основи нейронної мережі СМАС.....	3
12.2. Структура нейронної мережі СМАС.....	7
12.3. Кодування інформації.....	10
12.4. Вибір базисних функцій.....	17
12.5. Алгоритми навчання мережі СМАС.....	21
12.6. Алгоритм навчання Альбуса.....	21
12.7. Методи скорочення процесу навчання мережі.....	24
12.8. Гешування інформації в СМАС.....	29
12.8.1. Алгоритми гешування інформації у СМАС.....	30
12.8.2. Геш-колізії.....	32
12.8.3. Компенсація геш-колізій.....	36
12.9. Налаштування параметрів базисних функцій.....	37
12.9.1. Нормалізація базисних функцій.....	38
12.9.2. Використання різних t -норм для формування вектора асоціацій.....	42
12.9.3. Вибір кількості щаблів квантування ρ	42
12.10. Адаптивна дискретизація.....	43
12.11. Нейронна мережа Low Dimensional Based СМАС.....	47
12.12. Ієрархічна нейронна мережа НСМАС.....	48
12.13. Мінімізація структури нейронної мережі НСМАС.....	53
12.14. Порівняння структур НСМАС та МНСМАС.....	56
12.15. Самоорганізація вхідного простору МНСМАС.....	57
12.16. Навчання ПНМ МНСМАС.....	59
12.17. Практичне застосування мережі.....	64
12.17.1. Ідентифікація.....	64
12.17.2. Завдання управління.....	74
12.17.3. Розв'язання задачі стиснення зображень.....	90
12.17.4. Розв'язання задачі фільтрації сигналів і зображень.....	91

Розділ 13. ЕВОЛЮЦІЙНІ ШНМ.....	96
13.1 Глосарій та Ключові терміни.....	96
13.2 Евристична оптимізація.....	100
13.3 Еволюційні алгоритми: генетичні алгоритми, еволюційні стратегії та генетичні програмування.....	101
13.4 Класичний ГА.....	108
13.4.1 Теорія еволюції Дарвіна.....	108
13.4.2 Еволюція Ламарка.....	110
13.4.3 Ефект Болдуїна.....	111
13.5 Еволюційна оптимізація ШНМ.....	113
13.6 Еволюційні ШНМ.....	117
13.6.1 Селекція.....	120
13.6.2 Схрещування.....	121
13.6.3 Мутація.....	122
13.7 Багатокритеріальна оптимізація еволюціонуючих нейромережових моделей.....	124
13.7.1 Завдання багатокритеріальної оптимізації за Парето.....	127
13.8 Коеволюційні ГА.....	136
13.8.1 Конкуренція.....	137
13.8.2 Аменсалізм.....	137
13.8.3 Мутуалізм.....	137
13.8.4 Коменсалізм.....	138
13.8.5 Хижацтво.....	138
13.9 ШНМ, що коеволюціонують.....	139
13.9.1. Багатокритеріальний метод навчання ШНМ на основі кооперативної коеволюції.....	141
13.9.2. Багатокритеріальний метод навчання ШНМ на основі конкурентної коеволюції.....	146
13.9.3. Багатокритеріальний метод навчання ШНМ на основі комбінованого коеволюційного підходу.....	148
13.10 Робастність систем коеволюціонування.....	149
13.11 Особливості вирішення завдання багатокритеріального навчання під час використання РБМ.....	149
13.12 Багатокритеріальне навчання ШНМ із використанням алгоритмі: кластеризації.....	151
13.13 Імітаційне моделювання.....	152
13.13.1. Тестування алгоритмів багатокритеріальної оптимізації.....	152
13.13.2. Моделювання роботи революційних ШНМ.....	158
13.14 Прогнозне управління нелінійними об'єктами на основ еволюціонуючих нейронних мереж прямого поширення	164

Розділ 14. КОГНІТРОН ТА НЕОКОГНІТРОН.....	177
14.1 Когнітрон.....	177
14.2 Неокогнітрон.....	184
14.2.1 Структура неокогнітрону.....	185
14.3. Процес розпізнавання образу.....	187
14.3.1. Розпізнавання неспотвореного образу.....	187
14.3.2 Розпізнавання спотвореного образу.....	188
14.4 Структура S-нейрону.....	190
14.5 Навчання неокогнітрону.....	192
14.5.1. Навчання без вчителя.....	192
14.5.2 Навчання з учителем.....	194
14.6 Неокогнітрон із механізмом виборчої уваги.....	197
14.7 Практичне застосування.....	197
14.7.1 Результати моделювання роботи когнітрону.....	197
14.7.2 Обробка повернутих шаблонів неокогнітроном.....	198
Розділ 15. ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ.....	204
15.1 Архітектура ЗНМ.....	206
15.1.1 Шар підвиборки (пулінгу, MAX-pooling).....	208
15.1.2 Нелінійний прошарок активації.....	209
15.1.3 Дропаут шар	209
15.1.4 Нормалізуючий шар.....	209
15.1.5 Повнозв'язковий шар.....	209
15.2 Вибір функції активації та функції втрат.....	210
15.2.1 Вибір функції активації.....	210
15.2.2 Вибір функції втрат.....	211
15.3 Навчання мережі.....	211
15.3.1 Навчання нейронів вихідного (повнозв'язного) шару.....	213
15.3.2 Навчання вихідного (повнозв'язного) шару мережі при виборі функції перехресної ентропії як функції втрат.....	214
15.3.3 Навчання нейронів конволюційного шару.....	217
15.4 Навчальні вибірки, що використовуються в експериментах.....	218
15.5 Вибір бібліотеки машинного навчання.....	219
15.6 Навчання на основі стохастичного градієнта.....	219
15.7. Робастне навчання ЗНМ.....	223
15.8 Розвиток архітектури ЗНМ.....	224
15.9 Застосування згорткової мережі для розпізнавання облич за наявності негаусівських переход.....	257
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ З КУРСУ.....	266
1 Нейрон маккаллоха-пітса.....	266
2 Багатощаровий перцептрон і його архітектура.....	280

3 Радіально-базисна мережа та її архітектура.....	296
4 Нейронний газ та його архітектура.....	308
5 Застосування шнм для вирішення практичних завдань.....	313
6. Створення згорткової нейронної мережі.....	323
7. Завдання детектування об'єктів.....	326
8. Прогнозування даних часових рядів з використанням мережі з довгою короткостроковою пам'яттю	327
9. Згорткові мережі в TENSORFLOW.....	236
10. OCR: розпізнавання рукописного вводу за допомогою OPENCV, KERAS та TENSORFLOW.....	338
11. Сегментація зображень за допомогою MASK R-CNN, GRAB CUT ТА OPENCV.....	355