

**Валерій ФРАТАВЧАН, Тоня ФРАТАВЧАН,
Тарас ЛУКАШІВ, Юлія ЛІТВІНЧУК**



МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Навчальний посібник для закладів вищої освіти

Чернівці -2023

УДК 004.79

Рекомендовано Вченою радою Навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (протокол №1 від 23 лютого 2023 року).

Рецензенти:

Ляшкевич Василь Яремович – доцент кафедри системного проєктування Львівського національного університету імені Івана Франка, ІТ компанія «Technology at GlobalLogic, A Hitachi Group Company», Solution Architect;

Шкільнюк Дмитро Валерійович – кандидат технічних наук, асоціація «IT Ukraine Association», голова правління ГО «ІТ кластер “Chernivtsi IT Community”».

Ф 17 *Фратавчан В.Г., Фратавчан Т.М., Лукашів Т.О., Літвінчук Ю.А.,*
Методи та системи штучного інтелекту: навчальний посібник.
Чернівці: ЧНУ, 2023, – 114 с.

У посібнику проводиться огляд основних задач штучного інтелекту, опис загальних математичних та алгоритмічних моделей, методів та інструментальних засобів їх реалізації. Основна увага зосереджена на таких розділах методів та систем штучного інтелекту, як еволюційне програмування та генетичний алгоритм, задачі та системи розпізнавання образів, штучні нейронні мережі та експертні системи. Велика увага приділяється питанням практичного та прикладного застосування методів та систем штучного інтелекту для розв'язування задач розпізнавання образів, ідентифікації об'єктів, класифікації та кластеризації, машинного навчання, обробки великих інформаційних масивів.

У посібнику основні акценти ставляться на вивчені математичних та алгоритмічних моделей методів та систем штучного інтелекту. Це дозволить здобувачам освіти вивчити та зрозуміти принципи побудови інтелектуальних систем, комбінувати, деталізувати, спрощувати моделі для їх реалізації в програмних та технічних системах особливого призначення, у тому числі на мобільних платформах та кіберфізичних системах. Посібник в основному оформлений як теоретично-лекційний курс, але для основних тем та алгоритмічних моделей у посібнику пропонуються стереотипні задачі, які можна використати як завдання для виконання лабораторних робіт.

Даний навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти всіх спеціальностей галузі знань «12 Інформаційні технології», а також для інших спеціальностей, у сферу інтересів яких входить розробка прикладного програмного забезпечення.

© В.Г.Фратавчан, 2023

ЗМІСТ.....	3
ПЕРЕДМОВА.....	7
Розділ 1. Штучний інтелект. Задачі та моделі штучного інтелекту.....	8
Тема 1.1. Базові поняття штучного інтелекту.....	8
1. Поняття штучного інтелекту.....	8
2. Філософські аспекти штучного інтелекту.....	8
3. Математичні моделі задач штучного інтелекту.....	8
Розділ 2. Еволюційне програмування. Генетичний алгоритм.....	9
Тема 2.1. Поняття еволюційного програмування. Ідея генетичного алгоритму.....	11
1. Поняття еволюційного програмування.....	12
2. Структура генетичного алгоритму.....	12
Лабораторна робота № 1. Реалізація алгоритмів оптимізації нетрадиційної задачі методом генетичного алгоритму.....	17
Тема 2.2. Підвищення ефективності та спрощена модель генетичного алгоритму.....	19
1. Варіанти створення початкової популяції.....	20
2. Спрощена модель генетичних операторів.....	23
Розділ 3. Математичні методи класифікації та кластеризації. Задача розпізнавання образів.....	25
Тема 3.1. Задача розпізнавання образів.....	25
1. Класифікація та розпізнавання. Поняття образу.....	25
2. Класифікація методів. Основні поняття теорії розпізнавання.....	25
3. Класифікація систем розпізнавання образів.....	26
Тема 3.2. Формулювання задач розпізнавання. Основні терміни, поняття та означення	27
1. Поняття ознаки. Числові, предикатні та структурні ознаки.....	27
2. Побудова числових векторів ознак	27
3. Розбиття простору ознак на кластери. Поняття оцінки простору ознак.....	27
4. Принципи розпізнавання з використанням ознакових оцінок.....	29

Лабораторна робота № 2. Створення середовища для попередньої обробки образів та формування ознакових векторів в системах розпізнавання.....30

Тема 3.3. Елементарні математичні методи розпізнавання.....31

1. Поняття відокремлюючої функції.....31
2. Алгоритм побудови відокремлюючих функції лінійного типу.....31
3. Метод ортогональних областей (просторових кластерів).....32
4. Лінійні відокремлюючі гіперплощини.....34
5. Методи мінімаксних оцінок.....36
6. Метод дискримінантних функцій.....35

Лабораторна робота № 3. Створення адаптивних систем розпізнавання з побудовою кластерів методом статистичної обробки навчальних послідовностей.....43

Тема 3.4. Ймовірнісні методи розпізнавання.....45

1. Байєсівський підхід до розпізнавання образів.....45
2. Класичний ймовірнісний підхід.....48
3. Кластеризація для n-мірного випадку.....51

Тема 3.5. Індуктивний метод розпізнавання. Метод групового урахування аргументу.....55

Тема 3.6: Структурно-лінгвістичні методи розпізнавання.....57

1. Мови та граматики. Класифікація.....57
2. Класифікація Хомські.....58
3. Моделі структурно-лінгвістичного аналізу в розпізнаванні.....58

Тема 3.7. Розпізнавання та класифікація образів при складній топологічній конфігурації кластерів.....61

1. Загальна задача та основні поняття.....62
2. Особливості процедури кластеризації.....63
3. Створення інформаційних структур для визначення та опису класів.....64
4. Класифікація невідомого образу із застосуванням параметричних рівнянь кривих ідентифікації кластерів.....68

Розділ 4. Нейродинімічні методи обробки інформації.....70

Тема 4.1. Біологічна та математична модель нейрона. Штучна нейронна мережа.....70

1. Структура нервової клітини. Функції елементів.....	70
2. Математична модель нейрона. Вагові коефіцієнти. Передатна функція.....	71
3. Перцептрон Розенблата.....	72
4. Алгоритм навчання одношарового перцептронну.....	72
5. Модель штучного нейрона як «елемента обробки».....	74

Лабораторна робота № 4. Реалізація системи розпізнавання перцептронного типу для випадку двох класів.....76

Тема 4.2. Штучні нейронні мережі асоціативної дії.....77

1. Мережа Хопфілда.....	77
2. Алгоритм функціонування мережі Хопфілда.....	79
3. Модель двошарової нейронної мережі Хеммінга.....	80

Лабораторна робота № 5. Реалізація системи розпізнавання на базі нейронної мережі асоціативного та рекурентно-асимптотичного типу...83

Тема 4.3. Однопрохідні багатшарові лінійні ШНМ. Алгоритми навчання. Алгоритм оберненого поширення помилки.....83

1. Нейромережа зворотного поширення похибки (Back Propagation).....	83
2. Реалізація алгоритмів навчання методом оберненого розповсюдження помилки. Оптимізаційний підхід до навчання ШНМ.....	86

Тема 4.4. Спеціалізовані штучні нейронні мережі.....89

1. Поняття самоорганізуючої нейронної мережі. Карти Кохонена.....	89
2. Геометрична інтерпретація.....	90
3. Принцип роботи та алгоритм навчання.....	91

Тема 4.5. Специфічні нейронні мережі для розпізнавання образів.

Когнітрон.....92

1. Когнітрон. Структура та загальна ідея роботи когнітрона.....	92
2. Навчання когнітрону.....	93
3. Рецептивна область. Неокогнітрон.....	99

Розділ 5. Інтелектуальні методи прийняття рішень. Експертні системи.....101

Тема 5.1. Проєктування експертних систем. Основні поняття.....101

1. Експертна система. Концепція та основні поняття.....	101
2. Особливості створення експертних систем.....	103
3. Класифікація експертних систем.....	105

Тема 5.2. Знання та форми їх збереження.....	106
1. Поняття знань. Властивості.....	106
2. Принципи, методи та моделі подання знань.....	108
Література.....	114

ПЕРЕДМОВА

Словосполучення «системи штучного інтелекту» сьогодні зрозуміле всім. Контекст даного терміну пов'язують з такими поняттями як робототехніка, прогнозування, обробка великих інформаційних потоків, експертні системи, діагностика, проекти «розумний будинок» або «розумні інструменти», кіберфізичний простір та кіберфізичні системи, комп'ютерний переклад тощо. І насправді, задача, яка в середині минулого сторіччя з'явилася як курйозна програмна реалізація (мова йде про «електронну мишу»), за цей час перетворилася у потужний та повноцінний напрям розвитку комп'ютерних технологій, який органічно об'єднує математику, логіку, фізіологію, і навіть філософію. Сьогодні термін «штучний інтелект» використовують у різних галузях людської діяльності, а до задач штучного інтелекту відносять всі теоретичні, прикладні та технічні питання, рішення яких наближені або побудовані за принципами функціонування та діяльності біологічних організмів в цілому, у тому числі і на принципах побудови міркувань людини.

Охопити весь спектр задач штучного інтелекту у одному підручнику практично неможливо, навіть на рівні загального огляду. У цьому навчальному посібнику розглядаються такі розділи штучного інтелекту, як еволюційне програмування та генетичний алгоритм, системи розпізнавання образів, нейродинамічні системи та їх прикладне застосування, експертні системи. Ці теми вже мають досить тривалу хронологію розвитку, для них існує стереотипна математична основа, розроблені ефективні алгоритмічні моделі та практичні прикладні реалізації, для більшості таких задач вже розроблені високоефективні бібліотечні програмні засоби. А дана тематика стала обов'язковим компонентом підготовки фахівців всіх комп'ютерних спеціальностей провідних вітчизняних, європейських та світових закладів вищої освіти.

У цьому посібнику увага деякою мірою зосереджена на математичних та алгоритмічних моделях вказаних систем штучного інтелекту. Це пов'язано з орієнтацією на вивчення та розуміння основ побудови інтелектуальних систем даних типів з метою створення нових схем та алгоритмів, їх адаптації до нестереотипних умов використання, у тому числі і для реалізації методів штучного інтелекту в умовах автономної роботи, обмеження обчислювальних ресурсів, дистанційного керування тощо.

Розділ 1. Штучний інтелект. Задачі та моделі штучного інтелекту

Тема 1.1. Базові поняття штучного інтелекту

1. Поняття штучного інтелекту

Сучасні комп'ютерні апаратні та програмні засоби не тільки допомагають користувачам здійснювати рутинні обчислення аналізу та перетворення великих масивів інформації. Вони «навантажені» істотною частиною функціональних дій, які можна вважати «інтелектуальною» діяльністю і які традиційно входили до компетенцій людини. За останні декілька десятиріч у галузі комп'ютерних технологій викристалізувалась деяка множина задач, технологій та методів їх розв'язання.

Термін «інтелект» (intelligence) має латинське походження. Intellectus означає розум, розумові здібності людини. А термін «штучний інтелект» трактується як здатність автоматизованих систем виконувати функції людського інтелекту, вибирати та приймати рішення на основі попереднього накопиченого досвіду та раціонального аналізу зовнішніх факторів.

Ще одним терміном, який використовується штучним інтелектом, є термін «знання». Цим терміном позначають не тільки ту інформацію, яку людина отримує від зовнішнього середовища, а й інформацію про взаємодію об'єктів між собою. Також до системи «знань» відноситься і модель середовища, в якому ці знання оперують.

Досить умовним є термін «інтелектуальна задача». В математиці та кібернетиці розв'язок задачі тісно пов'язаний з поняттям алгоритму. Деякою мірою можна вважати, що до інтелектуальних задач належать задачі, для яких алгоритм розв'язання наперед не визначений, і необхідно попередньо здійснити вибірку та комбінувати алгоритми з деякого заданого набору. Тобто штучний інтелект можна трактувати як надалгоритм, який здатний генерувати алгоритми розв'язування конкретних задач. В більш вузькому розумінні системою штучного інтелекту можна вважати апаратно-програмний комплекс, алгоритм діяльності якого побудований на принципах аналогії діяльності людини або біологічного організму.

2. Філософські аспекти штучного інтелекту

Перше питання, яке виникає при дослідженні штучного інтелекту – а чи взагалі можливе моделювання розумової діяльності людини або біологічного організму? Приводиться ряд міркувань, які дозволяють сподіватися на позитивну

відповідь. По-перше, за переконанням вчених, біологічний інтелект не має сталого змісту, а великою мірою формується в процесі накопичення життєвого досвіду; по-друге, вже є позитивний досвід моделювання процесу ігор інтелектуального змісту (шашки, шахи тощо); по-третє, останнім часом інакше сприймається явище відтворення. Те, що вважалося прерогативою біологічних організмів, почали спостерігати і в неживій природі (зростання кристалів, синтез молекул), і є сподівання, що це явище можливе і для алгоритмів (частково це підтверджується наявністю комп'ютерних вірусів); по-четверте, на можливість створення штучного інтелекту вказує принцип алгоритмічної універсальності; і на завершення, якщо за канонами релігії Господь створив людину «за образом та подобою», то і людина може бути здатна на створення власної моделі в деяких межах.

Друге питання – чи здатна людина створити штучний інтелект, який якісно перевищить інтелект самої людини і чи можна таке допустити? Як варіант відповіді, пропонується розглядати штучний інтелект не як автономну категорію, а як «підсилення інтелекту» людини. Порушення цього принципу досить активно обговорюється в науковій фантастиці.

3. Математичні моделі задач штучного інтелекту

Штучний інтелект, як науковий напрям, має міждисциплінарну семантику. До задач штучного інтелекту належать такі категорії систем та задач, як:

- подання знань, маніпуляції знаннями та створення експертних систем;
- дружній людино-машинний інтерфейс, тобто спілкування людини з обчислювальним комплексом засобами та формами, близькими до людського спілкування;
- комп'ютерний лінгвістичний переклад;
- розпізнавання образів, тобто здатність технічної системи розрізняти об'єкти та явища, ідентифікувати їх, узагальнювати та будувати множини об'єктів з близькими або ідентичними характеристиками, виявляти та узагальнювати правила кластеризації та ідентифікації об'єктів;
- навчання та самонавчання, що трактується як здатність систем до адаптації на деяку аналітичну, обчислювальну та технологічну діяльність в процесі виконання пробних або контрольованих задач відповідного виду діяльності;
- планування дій або пошук розв'язків задач;
- доведення теорем;
- теорія ігор;

- створення та експлуатація нейронних мереж, апаратно-програмних комплексів, функціональна діяльність яких базується на принципах функціонування мозку біологічних організмів (у тому числі і людини);
- моделі із самоорганізацією, тобто системи, які в процесі діяльності здатні змінювати власну структуру внутрішніх обчислювальних процесів для покращення власних функціональних можливостей;
- еволюційне моделювання та генетичні алгоритми – форми організації обчислень та виконання оптимізаційних завдань, які побудовані на принципах біологічної еволюції;
- автоматизація конструювання та проектування;
- виявлення та використання асоціативних правил;
- моделювання та реалізація систем штучного зору;
- робототехніка.

Реалізація таких систем складається з декількох етапів і вимагає від розробників комплексних різноманітних знань, у тому числі і математичних. У загальному математичному розумінні інтелектуальну задачу можна подати у такій формі:

$$P = \langle S, C, D, M, L, W \rangle,$$

- де
- S – множина можливих ситуацій;
 - C – множина керувань для кожної ситуації;
 - D – множина перешкод;
 - M – множина переходів від однієї ситуації у іншу;
 - L – множина бажаних ситуацій;
 - W – множина небажаних ситуацій.

Для кожної з вищевказаних категорій математична модель може бути уточнена, доповнена, модифікована та вдосконалена. Наприклад, для теорії ігор математичну модель можна подати у вигляді:

$$G = \langle S, St, P, FS, NS \rangle,$$

- де
- S – множина всіх ігрових станів;
 - St – початковий гральний стан;
 - P – множина правил гри;
 - FS – множина бажаних станів;
 - NS – множина небажаних станів.

У даному навчальному посібнику будуть розглянуті питання створення систем штучного інтелекту для задач еволюційного програмування, розпізнавання образів, нейронних мереж та експертних систем.

Розділ 2. Еволюційне програмування. Генетичний алгоритм

Тема 2.1. Поняття еволюційного програмування. Ідея генетичного алгоритму.

Оптимізаційні задачі – помітний та важливий сектор застосування комп'ютерних програмних засобів. У математиці вже вироблена деяка система класифікації оптимізаційних задач. Для стереотипних формулювань існують класи математичних розв'язків та алгоритмів реалізації, таких як лінійне програмування, градієнтні методи, варіаційні методи тощо. Але ці методи та алгоритми доступні та ефективні при дотримуванні деяких правил або накладанні обмежень, таких як лінійність або диференційованість цільових функції, цілісність або опуклість області визначення цільових функцій тощо. Цілком зрозуміло, що не всі можливі та реальні оптимізаційні задачі відповідають таким умовам та обмеженням. В таких випадках розробники математичних методів та алгоритмів розв'язування таких задач намагаються розробити та застосувати для кожного конкретного випадку деякі додаткові дії та операції наближення, спрощення або декомпозиції.

Інший підхід до розв'язування нетипових оптимізаційних задач пропонує сама природа. Еволюційна концепція Дарвіна в цілому протирічить релігійним канонам історії людства. Але наукові принципи цієї теорії знайшли практичне підтвердження – ми вже переконалися, що у живій природі методами селекції, схрещування та генної інженерії вдається отримувати нові види або сорти рослин, породи тварин з наперед заданими властивостями та характеристиками. Вже є приклади штучно створених ягід, фруктів та овочів, нових штучно створених порід коней, корів, собак. Слово «гібрид» сьогодні відоме всім і трактується як продукт, отриманий в результаті природньої або штучної генної модифікації живих організмів.

Аналогія еволюційної концепції займає у теорії штучного інтелекту окремі позиції зі специфічними назвами – «еволюційне моделювання» для відповідних математичних методів розв'язування нетипових оптимізаційних задач, та «еволюційне програмування» для створення відповідних алгоритмів та їх програмної реалізації.