

Міністерство освіти і науки України

Ю. В. Нікольський, В. В. Пасічник, Ю. М. Щербина

# СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
СЕРІЯ «КОМП'ЮТИНГ»**

За науковою редакцією д.т.н., професора В.В. Пасічника

Третє видання, стереотипне

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Видавництво “Магнолія 2006”  
Львів – 2024

ББК 32.813я7  
УДК 004.8 (075)  
Н 64

*Відтворення цієї книги  
або будь-якої її частини заборонено  
без письмової згоди видавництва.  
Будь-які спроби порушення авторських прав  
переслідуватимуться у судовому порядку.*

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України*

***Рецензенти:***

***Соловійова Катерина Олександрівна*** – завідувач кафедри соціальної інформатики Харківського національного університету радіоелектроніки, доктор технічних наук, професор;

***Ткачук Микола В'ячеславович*** – доктор технічних наук, професор кафедри АСУ Національного університету «Харківський політехнічний інститут»;

***Цегелик Григорій Григорович*** – завідувач кафедри математичного моделювання соціально-економічних процесів Львівського національного університету імені Івана Франка, доктор фізико-математичних наук, професор.

Ю. В. Нікольський, В.В. Пасічник, Ю. М. Щербина  
Системи штучного інтелекту: навчальний посібник. – 2-ге вид., стер.–Львів:  
ПП «Магнолія 2006», 2024. – 279 с.

**ISBN 978-617-57-40-11-4**

У навчальному посібнику викладено основні поняття та методи систем штучного інтелекту. Наведено методіку побудови предметної області, описано процедури пошуку в просторі станів. Розглянуто теорію логічного виведення, а також реалізацію доведення теорем методом резолюцій. Систематизовано подано ідеї та алгоритми машинного навчання; зокрема, розглянуто дерева рішень та нейронні мережі. Окремий розділ присвячено міркуванням в умовах невизначеності.

Посібник адресовано студентам і аспірантам спеціальностей, пов'язаних із вивченням систем штучного інтелекту, він буде корисним і для професіоналів, які бажають вийти за межі вузької спеціальності.

**ББК 32.813я7  
УДК 004.8 (075)  
Н 64**

**ISBN 978-617-57-40-11-4**

© Ю. В. Нікольський, В.В. Пасічник,  
Ю. М. Щербина, 2024  
© ПП «Магнолія 2006», 2024

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА НАУКОВОГО РЕДАКТОРА СЕРІЇ ПІДРУЧНИКІВ ТА НАВЧАЛЬНИХ ПОСІБНИКІВ «КОМП'ЮТИНГІ»</b> .....	6
---	---

<b>ВСТУПНЕ СЛОВО АВТОРІВ</b> .....	11
------------------------------------	----

### РОЗДІЛ 1.

<b>ПОДАННЯ ЗАДАЧ ТА ПОШУК РОЗВ'ЯЗКІВ</b> .....	14
1.1. Класифікація задач .....	14
1.2. Основні поняття та означення .....	15
1.3. Модель предметної області .....	16
1.4. Процедура розв'язування задачі .....	17
1.5. Приклади розв'язування задач .....	18
1.6. Простір станів. Подання задачі в просторі станів .....	21
1.7. Метод пошуку вшир .....	25
1.8. Метод пошуку вглиб .....	27
1.9. Порівняння методів пошуку вшир і вглиб .....	29
1.10. Пошук вглиб з ітераційним заглибленням .....	29
1.11. Евристичні методи пошуку в просторі станів .....	30
1.12. Метод пошуку по першому найкращому збігу .....	32
1.13. Подання задач у вигляді графів AND/OR .....	35
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	42
<i>Комп'ютерні проекти</i> .....	42

### РОЗДІЛ 2.

<b>ЛОГІЧНЕ ВИВЕДЕННЯ</b> .....	43
2.1. Короткі історичні відомості .....	43
2.2. Логіка висловлювань .....	45
2.3. Закони логіки висловлювань .....	51
2.4. Нормальні форми логіки висловлювань .....	53
2.5. Логіка першого ступеня .....	54
2.6. Закони логіки першого ступеня .....	57
2.7. Випереджена нормальна форма .....	59
2.8. Логічне виведення в логіці висловлювань .....	60
2.9. Алгоритм Куайна .....	62
2.10. Алгоритм Девіса–Патнема .....	66
2.11. Поняття формальної теорії. Числення висловлювань .....	70
2.12. Застосування правил виведення в численні висловлювань .....	73
2.13. Метод резолюцій у численні висловлювань .....	75

2.14. Числення предикатів як формальна теорія. Логічне виведення в численні предикатів .....	79
2.15. Правила виведення в численні предикатів .....	81
2.16. Підстановка та уніфікація. Найзагальніший уніфікатор. Алгоритм уніфікації .....	83
2.17. Сколемівська нормальна форма .....	86
2.18. Метод резолюцій у численні предикатів .....	89
2.19. Хорнівські диз'юнкти та метод <i>SLD</i> -резолюцій .....	95
2.20. Принцип логічного програмування .....	98
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	103
<i>Комп'ютерні проекти</i> .....	107

### РОЗДІЛ 3.

<b>МАШИННЕ НАВЧАННЯ</b> .....	108
3.1. Інтуїтивне розуміння навчання .....	108
3.2. Означення навчання .....	109
3.3. Програми, що навчаються .....	110
3.4. Мотивація до навчання .....	113
3.5. Таксономія машинного навчання .....	114
3.6. Споріднені галузі .....	116
3.7. Навчання як розділ штучного інтелекту .....	117
3.8. Загальне формулювання задачі навчання за прецедентами .....	118
3.9. Основні поняття та означення .....	119
3.10. Типологія задач навчання за прецедентами .....	119
3.11. Задачі з описом об'єктів на основі ознак .....	122
3.12. Приклади задач машинного навчання .....	123
3.12.1. Задачі класифікації .....	123
3.12.2. Задача відновлення регресії .....	127
3.12.3. Задачі прогнозування та прийняття рішень .....	127
3.12.4. Задачі кластеризації .....	130
3.12.5. Задачі аналізу клієнтських середовищ .....	130
3.13. Навчання понять в штучному інтелекті .....	131
3.13.1. Задача навчання понять – пошук у просторі гіпотез .....	132
3.13.2. Упорядкування гіпотез „від загальної до конкретної” .....	135
3.13.3. Алгоритм Find-S пошуку найконкретнішої гіпотези .....	136
3.13.4. Алгоритм „вилучення кандидата” .....	139
3.14. Дерево рішень .....	153
3.14.1. Означення дерева рішень .....	153
3.14.2. Алгоритми побудови дерева рішень .....	155
3.15. Навчання на основі зв'язків .....	168
3.15.1. Біологічні нейронні мережі .....	169

---

---

3.15.2. Модель штучного нейрона .....	169
3.15.3. Подання нейромереж та їхньої архітектури .....	173
3.15.4. Сучасні архітектури нейромереж .....	175
3.15.5. Навчання одношарових нейромереж прямого поширення .....	180
3.15.6. Навчання багатошарових нейромереж прямого поширення .....	186
3.16. Метод опорних векторів .....	196
3.17. Мережі, що самоорганізуються .....	205
3.17.1. Опис мереж, що самоорганізуються .....	205
3.17.2. Міри відстані між векторами .....	207
3.17.3. Проблема нормалізації векторів .....	207
3.17.4. Міра організації мережі .....	208
3.17.5. Механізм стомлення нейронів .....	209
3.17.6. Методи навчання мереж, що самоорганізуються .....	210
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	213
<i>Комп'ютерні проекти</i> .....	222

## РОЗДІЛ 4.

<b>МІРКУВАННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ</b> .....	225
4.1. Нечіткі множини .....	225
4.1.1. Означення нечіткої множини .....	225
4.1.2. Операції на нечітких множинах .....	231
4.1.3. Нечіткі числа .....	234
4.1.4. Нечіткі відношення та їхні властивості .....	236
4.1.5. Трикутні норми .....	238
4.2. Міркування з використанням нечітких множин .....	240
4.2.1. Логічне виведення з використанням апарату нечітких множин .....	240
4.2.2. Застосування теорії нечітких множин до побудови пристроїв керування .....	243
4.2.3. Приклад застосування нечітких множин до побудови пристрою керування .....	249
4.3. Стохастичний підхід до подання невизначеності .....	255
4.3.1. Байєсівські міркування .....	255
4.3.2. Наївний байєсівський класифікатор .....	260
4.3.3. Байєсівські мережі довіри .....	262
<i>Задачі для самостійного розв'язування</i> .....	269
<i>Комп'ютерні проекти</i> .....	270
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	271
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	275

Навчальне видання

*Нікольський Юрій Володимирович*  
*Пасічник Володимир Володимирович*  
*Щербина Юрій Миколайович*

# Системи штучного інтелекту

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Третє видання, стереотипне

Керівник видавничого проекту *В. М. Піча*

Підписано до друку з оригінал-макета  
Формат 70x100/16. Умовн. друк. арк. 22,67.  
Гарнітура Таймс Нью Роман

ПП “Магнолія 2006”  
м. Львів-53, 79060, Україна, тел.+350503701957

e-mail: [magnol06@ukr.net](mailto:magnol06@ukr.net)

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції: серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року,  
видане Державним комітетом інформаційної політики,  
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавництва “Магнолія 2006”