

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ

Методичні вказівки
до організації та планування самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Електронний ресурс

Харків – 2025

УДК 681.51.01 (075.5)

I-29

Рецензенти:

Р. М. ТРИЩ – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри мехатроніки та електротехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

О. О. Литвин – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри ХТЛПід Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія».

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 8 від 28 березня 2025 року)*

- I-29 **Ідентифікація** динамічних об'єктів з застосуванням нейронних мереж і систем нечіткого висновку : Методичні вказівки до організації та планування самостійної роботи для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» [Електронний ресурс] / уклад. Г. І. Канюк, Т. Ю. Василюк, О. О. Варфоломійов. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 27 с.)

У методичних вказівках до організації та планування самостійної роботи студентів наведено стисло характеристику предмета, тематику лекційних та практичних занять за курсом, характеристику видів організації самостійної роботи при вивченні навчальної дисципліни.

Видання призначене здобувачам вищої освіти освітнього ступеня «магістр», що навчаються за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 681.51.01 (075.5)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, 2025

© Канюк Г. І., Василюк Т. Ю.,
Варфоломійов О. О., уклад., 2025

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	4
2. СТІСЛА РОБОЧА ПРОГРАМА	6
2.1 Тематичний план навчальної дисципліни	6
2.2 Структура навчальної дисципліни	7
2.3 Теми практичних занять	8
2.4 Самостійна робота	8
2.5 Методи навчання	9
2.6 Методи контролю	9
2.7 Схема нарахування балів для підсумкового семестрового контролю	9
2.8 Питання для самоперевірки	10
2.9 Рекомендована література	14
2.11 Інформаційні ресурси	16
3. ВИДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	21
3.1 Види організації самостійної роботи у процесі проведення очних занять	17
3.2 Види організації самостійної роботи, що виконуються у позаурочний час	17
3.3 Приклади відповідей на питання	18

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Метою вивчення дисципліни є освоєння дисциплінарних компетенцій по пізнанню принципів побудови і способів реалізації нейромережових, нечітких і нейро-нечітких моделей динамічних об'єктів і систем, набуття навичок практичного використання нейромережових і нечітких технологій для ідентифікації динамічних об'єктів і систем за допомогою нейронних мереж і систем нечіткого висновку.

Основні завдання вивчення дисципліни.

- Формування вміння виконувати ідентифікацію динамічних об'єктів і систем з використанням нейронних мереж і систем нечіткого висновку;
- формування навичок побудови нейромережових і нечітких систем управління, синтезу нейромережових і нечітких регуляторів;
- оволодіти технікою застосування пакетів прикладних програм для виконання ідентифікації об'єктів і систем управління з застосуванням нейронних мереж і систем нечіткого висновку.
- оволодіння технікою синтезу нейромережових і нечітких регуляторів з застосуванням системи MATLAB.

Кількість кредитів 4

Загальна кількість годин 120

Вивчення навчальної дисципліни сприяє здобуттю наступних компетентностей.

ЗК1. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

ЗК2. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК3. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК1. Здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

СК3. Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.

СК7. Здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Заплановані результати навчання.

РН01. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережових технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв

РН03. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій для розв'язування складних задач професійної діяльності.

РН04. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.

РН05. Розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, застосовуючи системний підхід із врахуванням нетехнічних складових оцінки об'єктів автоматизації.

РН08. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.

РН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами.

2 СТИСЛА РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Застосування нейронних мереж, систем нечіткого висновку і гібридних мереж в завданнях ідентифікації

Тема 1. Нейромережева ідентифікація на основі багатошарового персептрону

Класифікація штучних нейронних мереж. Моделі систем, використовувані при нейромережевій ідентифікації. Нейронні мережі як універсальні моделі. Багатошарові прямонаправлені мережі. Здібність апроксимації БП мереж. Навчання нейронних мереж. Ідентифікація динамічних систем за допомогою нейронних мереж.

Тема 2. Нечітка інформація і нечіткі висновки

Фактори, що обумовлюють ефективність використання систем нечіткого висновку в задачах ідентифікації. Основні поняття нечіткої логіки. Операції над нечіткими множинами і відносинами. Нечіткі висновки.

Тема 3. Гібридні мережі

Основні поняття і визначення гібридних мереж. Алгоритми навчання і використання гібридних мереж.

Розділ 2. Побудова моделей динамічних об'єктів з застосуванням нейронних мереж, систем нечіткого висновку і гібридних мереж

Тема 1. Побудова нейромережевих моделей динамічних об'єктів з використанням системи MATLAB

GUI-інтерфейс для пакету прикладних програм Neural Network Toolbox. Розробка нейромережевої моделі двомасової електромеханічної системи регулювання швидкості.

Тема 2. Побудова нечіткої апроксимуючої системи за допомогою пакету нечіткої логіки FUZZY LOGIC TOOLBOX

Призначення і можливості пакету Fuzzy Logic Toolbox. Графічний інтерфейс Fuzzy Logic Toolbox. Розробка нечіткої апроксимуючої системи для вирішення завдання ідентифікації двомасової електромеханічної системи.

Тема 3. Побудова адаптивних систем нейро-нечіткого висновку

Розробка моделі системи управління з нечітким регулятором. Формування бази правил системи нечіткого висновку. Розробка системи нечіткого висновку. Моделювання двомасової електромеханічної системи з нечітким регулятором.

2.2 Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Застосування нейронних мереж, систем нечіткого висновку і гібридних мереж в завданнях ідентифікації												
Тема 1. Нейромережева ідентифікація на основі багаточарового персептронну	20	6	2			12	20	2	1			17
Тема 2. Нечітка інформація і нечіткі висновки	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Тема 3. Гібридні мережі	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Разом за розділом 1	60	14	6			40	60	4	2			54
Розділ 2. Побудова моделей динамічних об’єктів з застосуванням нейронних мереж, систем нечіткого висновку і гібридних мереж												
Тема 1. Побудова нейромережевих моделей динамічних об’єктів з використанням системи MATLAB	20	6	2			12	20	2	1			17
Тема 2. Побудова нечіткої апроксимуючої системи за допомогою пакету нечіткої логіки FUZZY LOGIC TOOLBOX	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Тема 3. Побудова адаптивних систем нейро-нечіткого висновку	20	4	2			14	20	1	0,5			18,5
Разом за розділом 2	60	14	6			40	60	4	2			54
Усього годин	120	28	12			80	120	8	4			108

2.3 Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивчення функцій пакету прикладних програм NEURAL NETWORK TOOLBOX системи MATLAB	2
2	Вивчення функцій пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	4
3	Ідентифікація динамічних об'єктів з використанням нейронних мереж	2
4	Побудова нечітких моделей за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB	2
5	Побудова моделей динамічних об'єктів з використанням гібридних мереж в середовищі MATLAB	2
	Разом	12

2.4 Самостійна робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Нейромережева ідентифікація на основі багатошарового персептрону . Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	12
2	Нечітка інформація і нечіткі висновки. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	14
3	Гібридні мережі. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичного заняття. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти .	14
4	Побудова нейромережевих моделей динамічних об'єктів з використанням системи MATLAB. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	12
5	Побудова нечіткої апроксимуючої системи за допомогою пакету нечіткої логіки FUZZY LOGIC TOOLBOX. Синтез нечітких регуляторів з використанням системи MATLAB. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти.	14

6	Побудова адаптивних систем нейро-нечіткого висновку. Робота з конспектом лекцій. Робота з навчальною літературою. Підготовка до практичних занять. Виконання завдань для самостійної роботи на сайті дистанційної освіти	14
	Разом	80

2.5 Методи навчання

Методи навчання – це різноманітні способи, які допомагають студентам засвоїти програмний матеріал, сприяють активізації навчального процесу, надають можливість набути нових компетенцій.

Під час вивчення дисципліни застосовуються такі методи навчання: пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, частково-пошуковий, дослідницький, проблемного викладу; словесні, наочні, практичні; аналіз, синтез, індукція, дедукція; активні методи (дискусії та дебати, метод кейсів), інтерактивні методи (інтерактивні лекції, мозкові штурми, інтерактивні симуляції), проектні методи (проектне навчання, метод проектів); методи дистанційного навчання.

2.6 Методи контролю

Методи контролю – це способи, з допомогою яких визначається результативність навчально-пізнавального процесу та інших видів діяльності студентів. На заняттях використовуються такі види контролю: поточний і підсумковий.

Поточний контроль – усне та письмове опитування, експрес-опитування, контрольні роботи, тестування, оцінка практичних навичок, перевірка завдань для самостійної роботи, кейс-метод, комп'ютерні симуляції.

Підсумковий контроль – іспит, курсовий проєкт.

2.7. Схема нарахування балів для підсумкового семестрового контролю

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання						Екзамен	Сума	
Розділ 1			Розділ 2					Разом
T1	T2	T3	T1	T2	T3	60	40	100
20	20	20	20	20	20			

T1, T2 ... – теми розділів

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

2.8 Питання для самоперевірки

Питання до першого модуля

1. Що називається нейронною мережею?
2. Які найважливіші особливості та властивості нейронних мереж?
3. Дайте визначення нейромережевої системи управління.
4. Перерахуйте області застосування штучних нейронних мереж.
5. Які фактори обумовлюють застосування нейромережевих технологій в системах управління?
6. Наведіть структурну схему і запишіть основні рівняння штучного нейрона з скалярним входом (без зсуву і зі зсувом).
7. Які ви знаєте види функцій активації нейронів? Запишіть їх формули та намалюйте графіки.
8. Наведіть структурну схему і запишіть основні рівняння штучного нейрона з векторним входом.
9. Наведіть укрупнену схему нейрона з векторним входом. Дайте пояснення основних елементів схеми.
10. Дайте визначення нейронної мережі.
11. Назвіть етапи формування нейронної мережі.
12. Назвіть типи нейронів в мережі в залежності від функцій, що вони виконують.
13. Наведіть класифікацію нейронних мереж по числу шарів. Зобразіть схему двохшарової мережі прямого розповсюдження.
14. Які нейронні мережі використовуються в задачах управління?
15. Зобразіть схему і запишіть рівняння одношарової нейронної мережі.
16. Зобразіть розгорнуту і укрупнену схему багатошарової нейронної мережі.

- 17.Перечисліть основні достоїнства багатошарових прямонаправлених нейронних мереж.
- 18.У чому полягає сутність процесу навчання нейронних мереж?
- 19.Що таке «явище перенавчання»? Як виявити ефект перенавчання?
- 20.У чому полягає здібність узагальнення нейронних мереж?
- 21.Запишіть квадратичний функціонал якості навчання.
- 22.Які проблеми виникають при використанні градієнтних методів настройки параметрів ШНМ?
- 23.Які ви знаєте методи навчання нейронних мереж?
- 24.Запишіть основні етапи навчання одношарової мережі.
- 25.Запишіть основні етапи навчання багатошарової мережі методом зворотного розповсюдження помилки.
- 26.Перечисліть і запишіть основні співвідношення методів настройки вагових коефіцієнтів мережі.
- 27.Які моделі систем використовуються при нейромережевій ідентифікації?
- 28.Запишіть рівняння узагальнених NARMAX або NARX моделей, що враховують різні види нелінійностей по вхідних і вихідних змінних.
- 29.Зобразіть структурні схеми узагальнених NARMAX або NARX моделей, що враховують різні види нелінійностей по вхідних і вихідних змінних.
- 30.Запишіть рівняння прямої і інверсної нейронних NARX моделей нелінійної динамічної системи.
- 31.Зобразіть структурні схеми прямої і інверсної нейронних NARX моделей.
- 32.Зобразіть структурні схеми тренування прямої і інверсної нейронних моделей.
- 33.Запишіть типову послідовність дій, що приводить до формування нейромоделі (ідентифікації) динамічної системи.
- 34.Зобразіть схему ідентифікації нелінійного об'єкту управління за допомогою штучної нейронної мережі.
- 35.Які Ви знаєте програмні засоби для побудови нейромережевих моделей динамічних об'єктів і систем?

Питання до другого модуля

- 36.У яких випадках доцільно використовувати нечітке управління?
- 37.Які теореми обґрунтовують можливість використання апарату нечіткої логіки в задачах управління?
- 38.Перечисліть основні недоліки систем з нечіткою логікою.
- 39.Дайте визначення нечіткої множини. Наведіть приклади завдання нечіткої множини.
- 40.Дайте визначення функції приналежності нечіткої логіки. Які типові форми функцій найчастіше використовуються в нечіткій логіці для завдання функцій приналежності? Наведіть їх рівняння і графіки.

- 41.Перечисліть основні логічні операції, які можливі з нечіткими множинами. Дайте їх графічну інтерпретацію.
- 42.Дайте визначення нечіткої і лінгвістичної змінних. Наведіть приклад.
- 43.Перечисліть етапи формування логічного висновку. Наведіть приклади формування нечітких висновків.
- 44.Наведіть алгоритми нечіткого висновку: Mamdani, Tsukamoto, Sugeno, Larsen, спрощений алгоритм нечіткого висновку.
- 45.Перечисліть методи приведення до чіткості. Наведіть відповідні формули.
- 46.Наведіть структурну схему системи управління з нечітким регулятором
- 47.Яке призначення пакету прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB?
- 48.Перечисліть основні програми, що входять до складу Fuzzy Logic Toolbox, які дозволяють працювати в режимі GUI?
- 49.Поясніть призначення і можливості редактора систем нечіткого виведення FIS Editor.
- 50.Поясніть призначення і можливості редактора функцій приналежності Membership Function Editor.
- 51.Поясніть призначення і можливості редактора правил системи нечіткого висновку Rule Editor.
- 52.Поясніть призначення і можливості програми перегляду правил системи нечіткого висновку Rule Viewer.
- 53.Поясніть призначення і можливості програми перегляду поверхні відгуку системи нечіткого висновку Surface Viewe.
- 54.Наведіть методику синтезу нечіткої моделі двомасової електромеханічної системи.
- 55.Як вибирається кількість вхідних сигналів системи нечіткого висновку?
- 56.Як вибирається тип і кількість функцій приналежності вхідних і вихідної змінної?
- 57.Як виконується формування і введення правил нечіткого висновку?
- 58.З якою метою використовуються вікна перегляду правил і перегляду поверхні відгуку ?
- 59.Наведіть і поясніть схему моделі двомасової системи для перевірки адекватності побудованої нечіткої моделі.
- 60.Як можна використовувати системи нечіткого висновку, створені за допомогою пакету Fuzzy Logic Toolbox, для моделювання в Simulink?
- 61.Як реалізовані гібридні мережі в пакеті прикладних програм Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB?
- 62.Поясніть призначення і можливості редактора ANFIS.
- 63.Перечисліть і поясніть пункти меню редактора ANFIS.

64. Наведіть методику синтезу гібридної мережі для побудови моделі двомасової електромеханічної системи.
65. Як формуються навчальні, тестові і перевірочні дані?
66. Як вибирається кількість термів вхідних і вихідного сигналів системи нечіткого висновку?
67. Як можна візуалізувати систему нечіткого висновку?
68. Які методи використовуються для навчання гібридної мережі?
69. За допомогою яких засобів можна виконувати корекцію параметрів гібридної мережі?
70. Як виконується моделювання нечіткої моделі гібридної мережі в Simulink?

2.9 Рекомендована література

Основна (базова) література

1. Технології нейронних мереж і нечіткого моделювання в системах управління : підруч. для здобувачів вищої освіти спец. 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Г.І. Канюк, Б.І. Кузнецов, Т.Ю. Василець, А.Ю. Мезеря, О.О. Варфоломійєв. – Харків : Друкарня Мадрид, 2020. – 306 с.
2. Нейромережеві технології в системах управління: Підручник для вузів./ Б. І. Кузнецов, Т.Ю. Василець, Т.Б. Нікітіна, В. В. Коломиєць, О.О. Варфоломійєв; Укр. інж.-пед. акад.. - Харків: УПА, 2014. - 232 с.
3. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник.. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 224 с.
4. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник / С. В. Ткаліченко. – Кривий Ріг, 2023. – 150 с.
5. Штучні нейронні мережі: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О.Г. Руденко, Є.В. Бодянський. – К: Компанія СМІТ, 2006, 404 с.
6. Желдак Т.А. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень: навч. посіб. / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус, за редакцією С.А. Ус ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2020. – 387 с.
7. Кирик В. В. К43 Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник / В. В. Кирик.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка» 2019.– 224с.
8. Антоненко В. М., Мамченко С.Д., Рогушина Ю.В. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями: навчальний посібник. – Ірпінь : Національний університет ДПС України, 2016. – 212 с.
9. Глибовець М.М., Отецький О.В. Штучний інтелект. – К.: Вид. дім «КМ Академія», 2002. – 366 с.
10. Ямпольський Л. С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко. - К. : ДП «Вид. дім «Персонал», 2011. - 544 с.
11. Методи та системи штучного інтелекту: Теорія і практика: Навчальний посібник / О.С. Булгаков, В.В. Зосімов, В.О. Поздєєв. – Одеса. : Олді плюс, 2020. – 356с.

Додаткова (допоміжна) література

1. Субботін С. О. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с
2. Тимошук П.В. Штучні нейронні мережі; Навч. посібн. - Львів: Львівська політехніка, 2011. -444 с.
3. Кононюк, А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. - Київ: Корнійчук, 2008. - 468 с.
4. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник—/ Уклад. : А.С. Савченко, О. О. Синельников. – К. : НАУ, 2017. – 190 с.
5. Методи та системи штучного інтелекту: Навчальний посібник / Уклад.: І.М. Удовик, Г.М. Коротенко, Л.М. Коротенко, В.О. Трусов, А.Т. Харь. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2017. – 105 с.
6. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл.Д.В. Лубко, С.В. Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264 с.
7. Паламар М. І. Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних системах : навч. посіб. / Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький ; Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. Тернопіль : Тернопіл. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, 2018. 127 с.
8. Литвин В.В. Інтелектуальні системи : підручник / В.В. Литвин, В.В. Пасічник, Ю.В. Яцишен. – Львів: Новий світ, 2009. – 405 с.
9. Троцько В.В., Методи штучного інтелекту: навчально-методичний і практичний посібник. / Троцько В.В. – Київ: Університет економіки та права «КРОК», 2020. – 86 с.
- 10.Куклін В. М. К Подання знань і операції над ними; навчальний посібник. / В. М. Куклін. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019 – 164 с.
- 11.Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі, методи, алгоритми / В. Є. Снитюк. – Київ : Маклаут, 2008. – 364 с.
- 12.Івахів, Орест Васильович. Основи побудови систем керування з нечіткою логікою : навчальний посібник /О. Івахів, М. Наконечний.– Львів :Растр-7,2017. – 129 с.
- 13.Коротка, Лариса Іванівна. Обчислювальний інтелект : теорія нечітких множин: навчальний посібник / Коротка Л.І., Зеленцов Д.Г., Науменко Н.Ю.,Ляшенко О.А., Солодка Н.О.– Дніпро :ДВНЗ УДХТУ,2020. – 161 с.
- 14.Шушура О.М. Методологічні основи побудови інформаційних технологій для автоматизації управління складними системами на принципах нечіткої логіки : дис. ... доктора технічних наук : 05.13.06 / Шушура Олексій Миколайович. К., 2018. 332 с.
- 15.В.П.Дьяконов, В.В.Круглов MATLAB 6.5 SP1/SP2 + Simulink 5/6 инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.- 456 с.

- 16.Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6/[Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина]. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с
- 17.Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. –СПб: Питер, 2001. –488 с.
- 18.Круглов В.В., Дли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечёткой логики и нечёткого вывода. – М.: Физматлит, 2002. – 252 с.
- 19.Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzyTECH.- СП.:БХБ-Петербург, 2003.-736с.
- 20.ШтовбаС.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: "Горячая линия - Телеком", 2007. – 288 с.

2.11 Інформаційні ресурси

1. Сторінка дистанційного навчання URL <https://moodle.karazin.ua/>
2. Control Systems with Neural Network URL. <http://surl.li/yttvsa>
3. Introduction to Neural Networks in Control Systems URL <http://surl.li/tyxdkc>
4. Fuzzy Control Systems | Fuzzy Logic URL. <http://surl.li/jwcznw>
5. Overview of Fuzzy Logic and its Applications. URL. <http://surl.li/tqvzhd>

3 ВИДИ ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

За характером організації всі види самостійної роботи можна поділити на дві групи: види самостійної роботи у процесі проведення очних занять і види самостійної роботи, що проводяться у позаурочний час.

3.1 Види організації самостійної роботи у процесі проведення очних занять

3.1.1 Лекційні заняття

- приводячи конкретні приклади, показати необхідність оволодіння знаннями для формування професійних навичок;
- обґрунтувати важливість правильного конспектування та дати методичні поради щодо організації ефективного конспектування;
- з метою активізації розумової діяльності студентів на початку заняття (на протязі 5-7 хвилин) проводиться стисле опитування по раніш вивченому матеріалу, наприклад:

3.1.2 Практичні заняття

- використання методу обговорення навчального матеріалу для закріплення знань, що отримані під час лекційних занять та самостійної роботи;
- використання методу демонстрації для створення наглядного образу предмету чи явища, що розглядається;
- використання методу вправ для отримання найбільш важливих професійно необхідних вмінь;
- використання методу досліджень для формування у студентів навичок щодо самостійного отримання знань та результатів.

3.2. Види організації самостійної роботи , що виконуються студентами у позаурочний час

- Робота з навчальною літературою;
- робота з конспектами ;
- виконання домашніх завдань;
- підготовка до практичних занять;
- підготовка до контрольних заходів;
- робота в системі ДО.

3.3 Приклади відповідей на питання

1 Ідентифікація динамічних систем за допомогою нейронних мереж

Завдання теорії регулювання, що займається пошуком моделей динамічних систем на основі апріорної інформації і вимірюваних вхідних/вихідних сигналів системи, носить назву ідентифікація. Відомі класичні методи ідентифікації нелінійних систем застосовні тільки у поєднанні з певним типом моделі (наприклад, ряди Вальтера, моделі Хаммерштейна і Вінера), що описує певний клас нелінійних динамічних систем. У роботі під термінами «ідентифікація системи», «тренування» і «навчання» розуміється процес підстроювання вагових коефіцієнтів мережі за допомогою градієнтних методів. Метою цього процесу є по можливості точне наближення поведінки моделі до спостережуваної поведінки динамічної системи.

Принципово розрізняють пряму і інверсну модель об'єкту. На рис.1 представлені схеми тренування цих нейронних моделей. Для спрощення на рис. 1 не зображені ланки затримки за часом, що формують попередні значення координат на вході нейронних мереж.

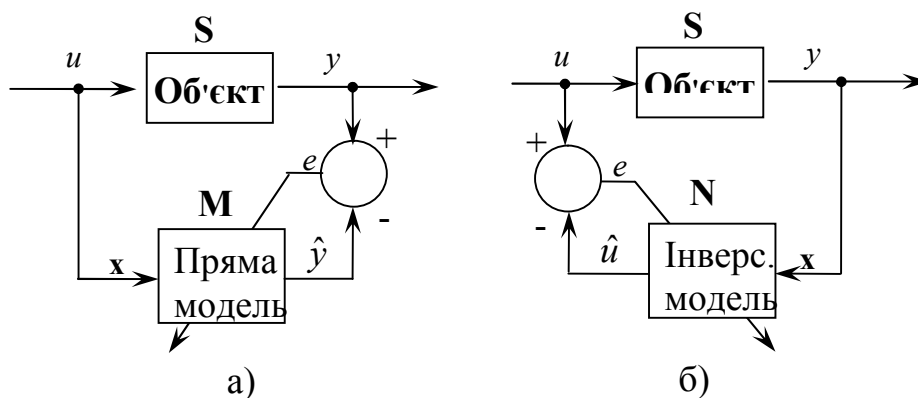


Рис. 1. Схеми тренування прямої (а) і інверсної (б) моделей

Вхідний сигнал x нейронній моделі об'єкту M на рис.1а ідентичний вхідному сигналу об'єкту S . Для інверсної нейромодели N як вхідний сигнал використовується вихідний сигнал об'єкту S тоді як нейромодель повинна відновити вхідний сигнал об'єкту (рис.1 б). Поки присутня помилка між виходом нейромодели і її зразковим сигналом, ця помилка використовується для тренування мережі. У обох випадках ідентифікації обчислюється градієнт функціонала якості. Функціонал якості найчастіше при цьому квадратичний.

Оскільки $\frac{\partial \hat{y}}{\partial \mathbf{w}}$ і $\frac{\partial \hat{u}}{\partial \mathbf{w}}$ обчислювані, то це дозволяє вести підстроювання вагових

коефіцієнтів мережі згідно градієнтним методам. Результатом цього буде мінімізація функціонала якості. Оскільки набір тренувальних даних однозначно відображає лише поведінку модельованого об'єкту S у робочому діапазоні, то після завершення тренування маємо $M \approx S$ і $N \approx S^{-1}$.

Оскільки тренувальні дані є носієм інформації про систему, що ідентифікується

ся, то наявності, кількості і якості цих даних слід приділити особливу увагу. Тренувальних дані повинні мати наступні характеристики: якісна дискретизація, рівномірність дисперсії і величини варіації, рівномірність амплітуд всіх сигналів і їх середньоквадратичних значень.

При отриманні позитивного результату апроксимації, слід також перевірити здібність нейромоделі до узагальнення, тобто її здатність повторювати істотні характеристики об'єкту. Для цього тесту необхідний ще один набір даних, що не брав участь при тренуванні мережі. Цей тест дає остаточний висновок про адекватність нейромоделі.

2 Нейронні мережі як універсальні моделі

Оскільки тип і взаємозв'язок нелінійностей в об'єкті, як правило, не відомі, для моделювання слід використовувати якомога більш універсальні структури моделей. Нейронні мережі є саме такими структурами.

Здебільшого використовуються прямонаправленні мережі, що характеризуються наявністю зв'язків між нейронами тільки в прямому напрямі без зворотних зв'язків усередині мережі, – багатошаровий персептрон (БП). За допомогою БП можна апроксимувати з бажаною точністю не тільки будь-які статичні функції. Попередні значення вхідних/вихідних координат у вхідному векторі дозволяють додати прямонаправленим мережам динамічні властивості.

Модель системи в просторі станів може бути успішно реалізована за допомогою прямонаправлених мереж, якщо змінні стани сформувати на виході мережі і потім завести їх на вхід мережі із затримкою. Але для цього потрібний, щоб всі змінні стани були вимірювані, оскільки тільки в цьому випадку можна забезпечити тренування мережі.

NARX мережеві моделі параметризуються лінійно і тому використовують стандартні методи тренування мережі. Внаслідок цього саме даний вид моделі найчастіше використовується при нейронній ідентифікації систем. Прямий нейронний NARX моделі нелінійної динамічної системи відповідає наступний вираз:

$$\hat{y}(k) = f(y(k-1)...y(k-n_y), u(k-n_k)...u(k-n_u-n_k+1), \mathbf{w}), \quad (1)$$

а нейронній інверсній NARX моделі:

$$\hat{u}(k) = g(y(k+n_k)...y(k+n_k-n_y), u(k-1)...u(k-n_u+1), \mathbf{w}) \quad (2)$$

де f, g – функції, що реалізуються нейронними мережами;

u, y – вхідна і вихідна координати відповідно;

$\hat{u}, \hat{y}$ – значення координат на виході мережі;

$\mathbf{w}$ – матриця лінійних параметрів мережі;

n_k – запізнювання в системі, найчастіше $n_k = 1$.

Вирази (1) і (2) можна представити графічно у вигляді структурних схем, показаних на рис. 1 і 2.

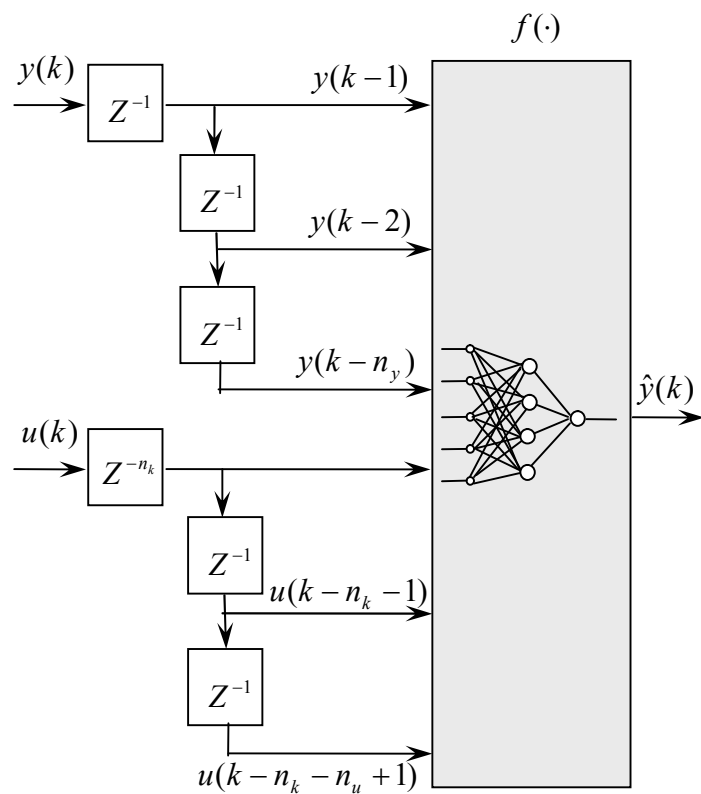


Рис. 1. Прямa мережева NARX модель

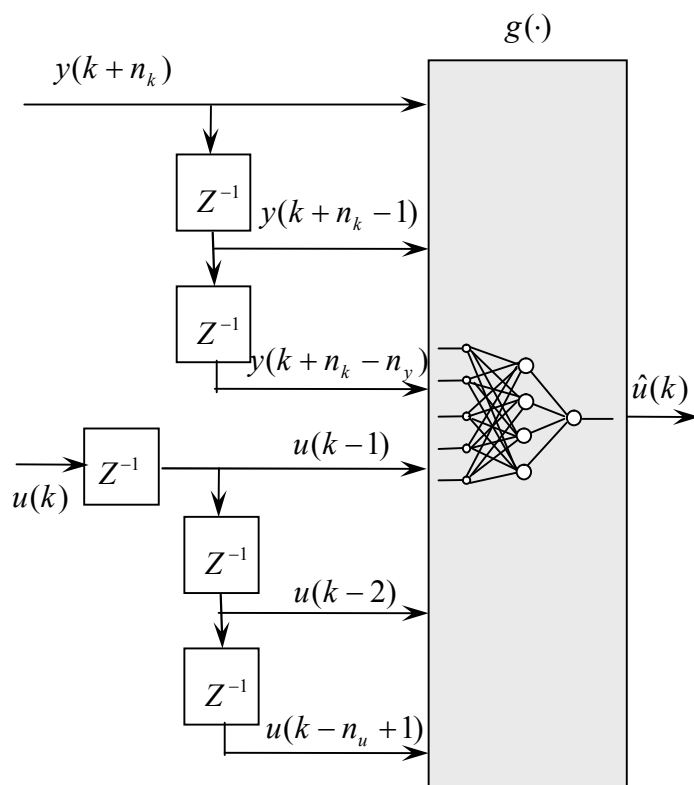


Рис.2. Інверсна мережева NARX модель

3 Ідентифікація об'єкту управління за допомогою нейронних мереж при синтезі регулятора NN PREDICTIVE CONTROLLER

Схема підсистеми ідентифікації показана на рис. 1. вона включає модель об'єкту управління у вигляді нейронної мережі, яка повинна бути навчена в автономному режимі так, щоб мінімізувати помилку між реакціями об'єкту і моделі $e = y - y_n$ на послідовність пробних сигналів u .

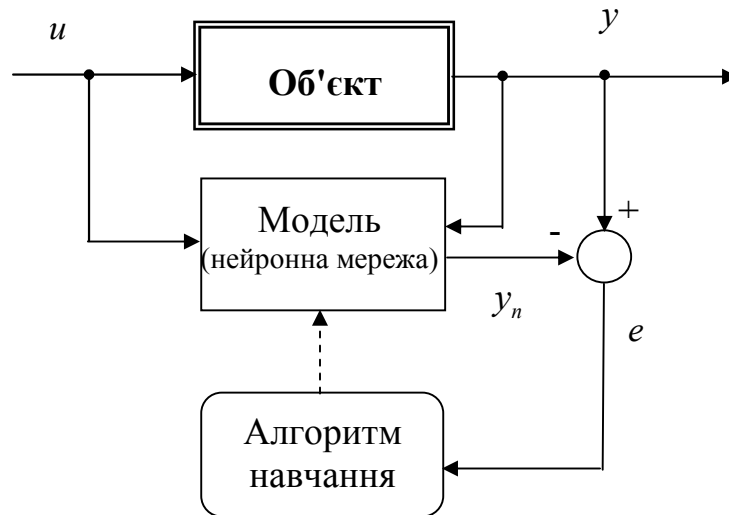


Рис.1. Схема підсистеми ідентифікації

Нейронна мережа регулятора об'єкту управління представлена на рис. 2. вона має 2 шари нейронів і використовує лінії затримки (ЛЗ), щоб запам'ятати попередні значення входів і виходів об'єкту передбачити майбутнє значення виходу.

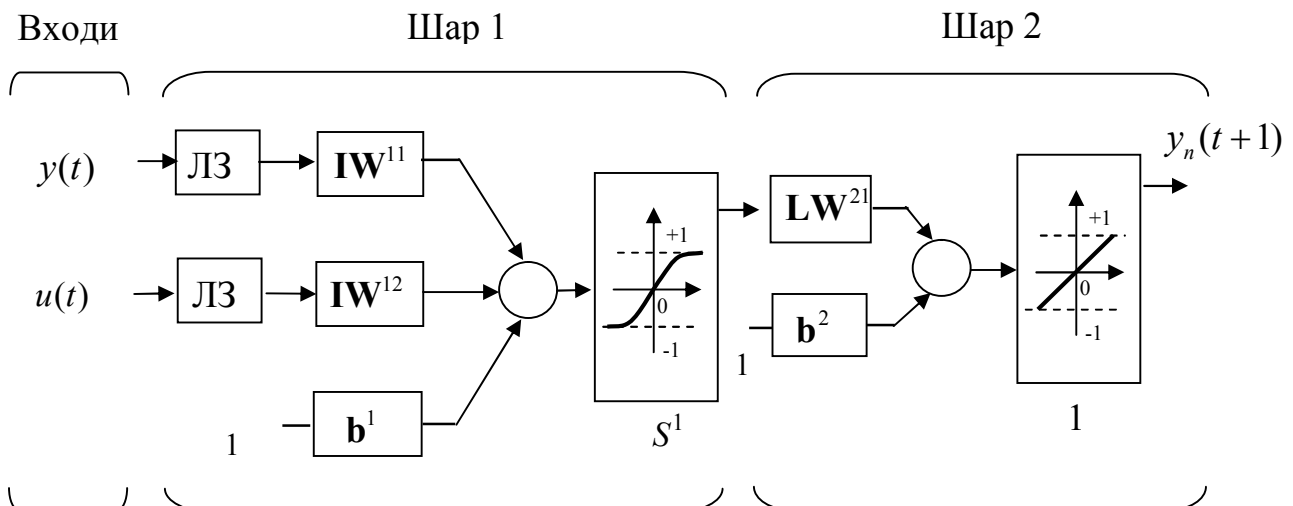


Рис.2. Нейронна мережа регулятора керованого об'єкту

Настройка параметрів цієї мережі виконується автономно методом групового навчання, використовуючи дані, отримані при випробуваннях реального об'єкту. Для навчання мережі може бути використаний будь-якому з навчальних алгоритмів для нейронних мереж. Найбвльш ефективним є алгоритм Левенберга-Марквардта. У ППП Neural Network Toolbox даний алгоритм реалізований у вигляді М-функції trainlm.

4. Основні етапи нечітких висновків

Використовуваний в різного роду експертних і управляючих системах механізм нечітких висновків в своїй основі має базу знань, що формується фахівцями предметної області у вигляді сукупності нечітких предикативних правил вигляду:

P_1 : якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$,

P_2 : якщо $x \in A_2$, тоді $y \in B_2$,

.....

P_n : якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$,

де x – вхідна змінна (ім'я для відомих значень даних),
 y – змінна висновку (ім'я для значення даних, яке буде обчислено);
 A_i і B_i – нечіткі множини, визначені відповідно на X і Y .

Загальний логічний висновок здійснюється за наступні чотири етапи.

1. *Нечіткість (введення нечіткості, фазифікація, fuzzification)*. Функції приналежності, визначені на вхідних змінних застосовуються до їх фактичних значень для визначення ступеня істинності кожної передумови кожного правила.
2. *Логічний висновок*. Обчислене значення істинності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це приводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній змінній висновку для кожного правила. Як правила логічного висновку, зазвичай використовуються тільки операції $\min$ (МІНІМУМ) або prod (МНОЖЕННЯ). У логічному виведенні МІНІМУМУ функція приналежності висновку «відсікається» по висоті, відповідній обчисленому ступеню істинності передумови правила (нечітка логіка «І»). У логічному виведенні МНОЖЕННЯ функція приналежності висновку масштабується за допомогою обчисленого ступеня істинності передумови правила.
3. *Композиція*. Всі нечіткі підмножини, призначені до кожної змінної висновку (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб формувати одну нечітку підмножину для кожної змінної висновку. При подібному об'єднанні зазвичай використовуються операції $\max$ (МАКСИМУМ) або sum (СУМА). При композиції МАКСИМУМУ комбіноване виведення нечіткої підмножини конструюється як поточечний максимум по всіх нечітких підмножинах (нечітка логіка «АБО»). При композиції СУМИ комбіноване виведення нечіткої підмножини конструюється як поточечна сума по всіх нечітких підмножинах, призначених змінній висновку правилами логічного висновку.
4. На закінчення (додатково) – *приведення до чіткості (дефазифікація, defuzzification)*, яке використовується, коли корисно перетворити нечіткий набір висновків в чітке число. Є велика кількість методів приведення до чіткості, деякі з яких розглянуті нижче.

5. Алгоритм Mamdani

Одним з найбільш поширених алгоритмів нечіткого висновку є *алгоритм Мамдані* (Mamdani.) рис. 1.

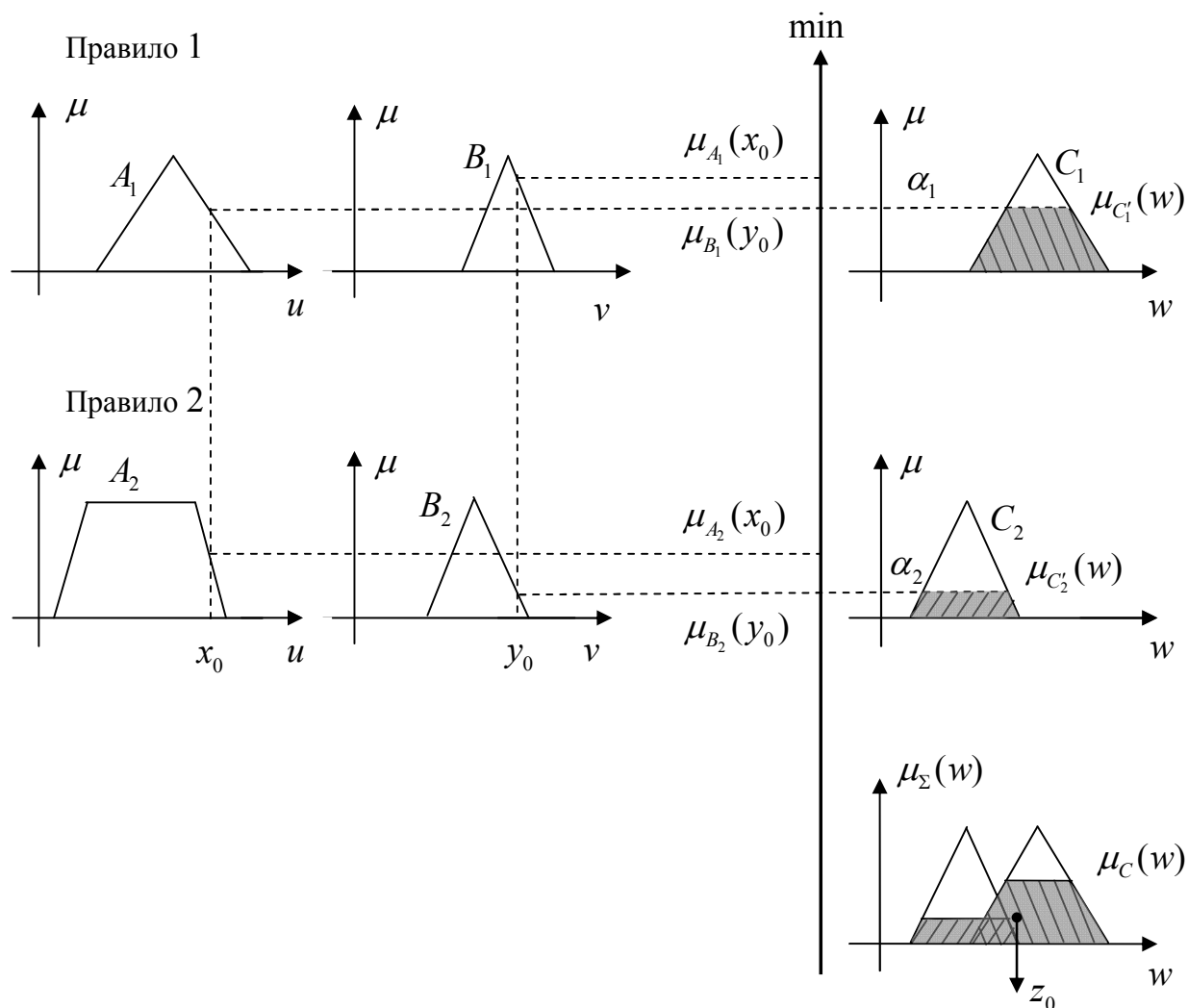


Рис. 1. Ілюстрації до алгоритму Mamdani

Алгоритм математично може бути описаний таким чином.

1. Нечіткість: знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила: $\mu_{A_1}(x_0)$, $\mu_{A_2}(x_0)$, $\mu_{B_1}(y_0)$, $\mu_{B_2}(y_0)$.

2. Нечіткий висновок: знаходяться рівні «відсічення» для передумов кожного з правил (з використанням операції МІНІМУМ)

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0),$$

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0),$$

де через « $\wedge$ » позначена операція логічного мінімуму (min), потім знаходяться «усічені» функції приналежності

$$\mu_{C_1'}(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)),$$

$$\mu_{C_2'}(w) = (\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)).$$

3. Композиція: з використання операції МАКСИМУМ (max, що далі позначається як « $\vee$ ») проводиться об'єднання знайдених усічених функцій, що приводить до отримання підсумкової нечіткої підмножини для змінній виходу з функцією приналежності

$$\mu_{\Sigma}(w) = \mu_C(w) = \mu_{C_1'}(w) \vee \mu_{C_2'}(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)).$$

4. Приведення до чіткості (для знаходження z_0) проводиться, наприклад, центроїдним методом

6 Методи приведення до чіткості

1. Вище вже був розглянутий один з даних методів – центроїдний. Приведемо відповідні формули ще раз. Для безперервного варіанту:

$$z_0 = \frac{\int_{\Omega} z \mu_{\Sigma}(z) dz}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(z) dz},$$

для дискретного варіанту:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\Sigma}(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_{\Sigma}(z_i)}.$$

2. Перший максимум (First-of-Maxima). Чітка величина змінної висновку знаходиться як найменше значення, при якому досягається максимум підсумкової нечіткої множини, тобто (див. рис. 5.14 а)

$$z_0 = \min(z \mid \mu_{\Sigma}(z) = \max_z \mu_{\Sigma}(z)).$$

3. Середній максимум (Middle-of-Maxima). Чітке значення знаходиться по формулі

$$z_0 = \frac{\int_G z dz}{\int_G dz},$$

де G – підмножина елементів, що максимізували μ_{Σ} (див. рис. 5.14 б).

Дискретний варіант (якщо μ_Σ – дискретне):

$$z_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N z_j$$

4. Критерій максимуму (Max-Criterion). Чітке значення вибирається довільно серед множини елементів, що доставляють максимум, тобто

$$z_0 \in \{z \mid \mu_\Sigma(z) = \max_z \mu_\Sigma(z)\}.$$

5. Висотна дефазифікація (Height defuzzification). Елементи області визначення, для яких значення функції приналежності менше, ніж деякий рівень α в розрахунок не приймаються, і чітке значення розраховується по формулі

$$z_0 = \frac{\int_{C_\alpha} z \mu_\Sigma(z) dz}{\int_{C_\alpha} \mu_\Sigma(z) dz},$$

де C_α – нечітка множина α – рівня (див. вище).

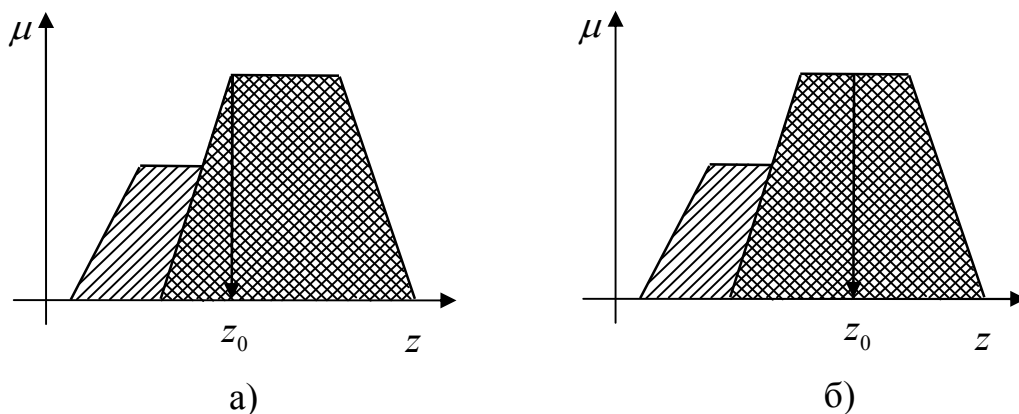


Рис. 5.14. Ілюстрація до методів приведення до чіткості:
а – перший максимум; б – середній максимум

7. Призначення і можливості пакету Fuzzy Logic Toolbox

Пакет нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox – це пакет прикладних програм, що відносяться до теорії розмитих або нечітких множин і дозволяє конструювати так звані нечіткі експертні і управляючі системи.

Основні можливості пакету:

- побудова систем нечіткого висновку (експертних систем, регуляторів, аппроксиматоров залежностей);
- побудова адаптивних нечітких систем (гібридних нейронних мереж);
- інтерактивне динамічне моделювання систем з нечіткою логікою в середовищі пакету блокового моделювання Simulink.

Пакет забезпечує роботу:

- у режимі командного рядка;
- у вікнах графічного інтерфейсу;
- у середовищі пакету розширення Simulink.

Пакет Fuzzy Logic Toolbox може працювати в операційному середовищі системи MATLAB. Спільно з Fuzzy Logic Toolbox можуть використовуватися і інші пакети розширення, зокрема, пакет Simulink, що значно підвищує наочність рішень.

Більшість додатків системи MATLAB мають найбільш наочну реалізацію при використанні засобів графічного інтерфейсу користувача GUI. До складу програмних засобів Fuzzy Logic Toolbox входять наступні основні програми, що дозволяють працювати в режимі GUI:

- редактор нечіткої системи виведення Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor або FIS-редактор) разом з допоміжними програмами – редактором функцій приналежності (Membership Function Editor), редактором правил (Rule Editor), переглядачем правил (Rule Viewer) і переглядачем поверхні нечіткого висновку (Surface Viewer);
- редактор гібридних систем (ANFIS Editor, ANFIS-редактор);
- програма знаходження центрів кластерів (програма Clustering – кластеризація).

Набір даних програм надає користувачеві максимальні зручності для створення, редагування і використання різних систем нечіткого висновку.

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Канюк Геннадій Іванович
Василець Тетяна Юхимівна
Варфоломієв Олексій Олексійович

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ І СИСТЕМ НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ

Методичні вказівки
до організації та планування самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 28.03.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 0,8. Обсяг 0,324 Кб. Зам. № 107/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна