



ОСНОВИ НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ В МЕДИЦИНІ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>122 Комп'ютерні науки</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерні технології в біології та медицині</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитних модулів ECTS (120 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на сайті http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.п.н., доцент, доцент каф БМК Добровська Людмила Миколаївна, e-mail – dobrovska.liudmyla@iit.kpi.ua Практичні: к.п.н., доцент, доцент каф БМК Добровська Людмила Миколаївна, e-mail – dobrovska.liudmyla@iit.kpi.ua ст. викл. каф БМК Бовсунівська Катерина Сергіївна e-mail – bmk-bks-fbmi@iit.kpi.ua
Профіль викладача	<i>Добровська Людмила Миколаївна - https://intellect.kpi.ua/profile/dlm4</i>
Розміщення курсу	<i>Платформа "Google клас "Посилання на дистанційний ресурс "Основи нечітких моделей в медицині" https://classroom.google.com/u/0/c/MjU2NzI2MDg1NTg1</i>

Розподіл годин

семестр	Лекції	Практичні	Лабораторні	Самостійна робота
<i>весняний семестр</i>	28		26	66

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дані та знання, з якими мають справу медичні системи (в тому числі й інтелектуальні), рідко бувають абсолютно точними та достовірними. Притаманна знанням невизначеність може мати різнобічний характер, а для її опису використовують широкий спектр формалізмів. У наш час

в інженерії знань розрізняють такі види невизначеності: недетермінованість виводів, багатозначність, ненадійність (нечіткість, неточність).

Були розроблені різні теорії, які дозволяють оперувати незнанням, серед них значне місце посідає нечітка логіка. Теорія нечіткої логіки надає математичну базу для обробки невизначеностей, пов'язаних з людськими пізнавальними процесами, такими як мислення і міркування.

Моделі систем, побудова, використання та аналіз яких базується на положеннях теорії нечітких множин і нечіткої логіки, називають **нечіткими моделями**.

Існують дві основні характеристики нечітких систем: 1) нечіткі системи підходять для невизначеного або наближеного міркування, особливо для системи на основі математичної моделі, яку важко вивести; 2) нечітка логіка дозволяє приймати рішення в умовах неповної або неточної інформації. Нечітку логіку часто використовують як складову комбінованих (гібридних) інтелектуальних систем.

Вивчення дисципліни *“Основи нечітких моделей в медицині”* надає знання та уміння розробляти інформаційні системи у вигляді нечітких моделей на мові Python із використанням принципів об'єктно-орієнтовного програмування. Дисципліна дає змогу студенту оволодіти:

- 1) сучасними інформаційними технологіями у вигляді нечітких моделей (систем нечіткої логіки) та гібридних моделей (нейронечітких систем, нечітких моделей на основі Дерев класифікації, методів нечіткої кластеризації або генетичних алгоритмів),
- 2) технологією аналізу великих масивів біомедичних даних на основі Дерев класифікації;
- 3) технологією об'єктно-орієнтовного програмування на мові Python;

Методи навчання: пояснювально-демонстраційний, частковопошуковий, дослідницький, метод проблемного викладання, комунікативний з елементами рольової та ділової гри, метод навчальних проєктів. Інноваційні способи і методи, що використовуються в освітньому процесі, засновані на застосуванні сучасних досягнень науки та інформаційних технологій, спрямовані на підвищення якості підготовки шляхом розвитку *“soft-skills”* (творчих здібностей, креативності, комунікації, роботи в групі і самостійно); націлені на активізацію творчого потенціалу та самостійності.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей у відповідності до освітньо-професійної програми *“Комп'ютерні науки”*.

Загальні компетентності (ЗК) (ОП введено в дію Наказом ректора НОН/89/2021 від 19.04.2021 р.):

- ЗК 2 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
- ЗК 3 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності
- ЗК 6 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями
- ЗК 7 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел
- ЗК 8 Здатність генерувати нові ідеї (креативність)
- ЗК 9 Здатність працювати в команді

Фахові компетентності спеціальності (ФК) (ОП введено в дію Наказом ректора НОН/89/2021 від 19.04.2021 р.):

ФК 2 Здатність до виявлення статистичних закономірностей недетермінованих явищ, застосування методів обчислювального інтелекту, зокрема статистичної, нейромережевої та нечіткої обробки даних, методів машинного навчання та генетичного програмування тощо.

ФК 8 Здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: узагальненого, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами й алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління.

ФК 11 Здатність до інтелектуального аналізу даних на основі методів обчислювального інтелекту включно з великими та погано структурованими даними, їхньої оперативної обробки та візуалізації результатів аналізу в процесі розв'язування прикладних задач.

ФК 20 Здатність до застосування методів моделювання чітких та нечітких моделей біологічних процесів та систем, методів чисельно-аналітичного моделювання.

ФК 22 Здатність до застосування методів штучного інтелекту для комп'ютерного вирішення когнітивних задач, в умовах неповноти, неточності та суперечливості знань про об'єкт дослідження, а також для розв'язання задач без чіткого заданого алгоритму.

Програмними результатами навчання (ПР) (ОП введено в дію Наказом ректора НОН/89/2021 від 19.04.2021 р.):

ПР 4 Використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання, нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації, ідентифікації об'єктів керування тощо.

ПР 19 Розв'язання складних спеціалізованих завдань та практичних проблем у галузі інтелектуальних інформаційних технологій та інтелектуального аналізу даних в процесі професійної діяльності, що передбачає застосування сучасних методів, моделей, алгоритмів машинного навчання, штучного та обчислювального інтелекту

ПР 20 Застосовувати та удосконалювати підходи до моделювання та оптимізації станів медичних та біологічних об'єктів, створювати та удосконалювати чіткі та нечіткі математичні моделі і програмні системи.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Навчальна дисципліна викладається в 2 семестрі на 2 році навчання з освітньої програми «**Комп'ютерні науки**» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

В структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця навчальна дисципліна входить до переліку обов'язкових дисциплін, спрямованих на формування **професійної та практичної підготовки** бакалавра.

Дисципліну **забезпечують** наступні дисципліни: «Дискретна математика» (3/І), «Алгоритмізація та програмування» (1/ІІ);

дисципліна **забезпечує** наступні навчальні дисципліни та кредитні модулі: «Теорія прийняття рішень» (5/ІІ), «Основи штучного інтелекту» (6/С).

Навчальна дисципліна є основою для підготовки дипломних робіт за спеціальністю та в подальшій практичній роботі за фахом.

3. Зміст навчальної дисципліни

Перелік розділів і тем всієї дисципліни

Розділ 1¹. Основні поняття теорії нечітких множин та нечіткої логіки

Тема 1.1. Організація обчислень і програмування в системі MatLab

Тема 1.2. Нечіткі та нейро-нечіткі системи в медицині

Тема 1.3. Основні поняття теорії нечітких множин: нечіткі множини

Тема 1.4. Основні поняття теорії нечітких множин: нечіткі відношення

Тема 1.5. Арифметичні операції над нечіткими числами

Тема 1.6. Основи нечіткої логіки

Розділ 2. Нечіткі моделі на основі нечіткої логіки

Тема 2.1. Структура та складові нечіткої моделі на основі нечіткої логіки

Тема 2.2. Властивості правил, бази правил і нечітких моделей

Тема 2.3. Алгоритми нечіткого виведення

Тема 2.4. Нечітка модель як універсальний апроксиматор

Тема 2.5. Формування бази нечітких правил на основі прикладів навчання

Тема 2.6. Екстраполяція на основі нечітких моделей

Тема 2.7. Нечіткі реляційні моделі

Розділ 3. Деякі відомості з теорії нейронних мереж

Тема 3.1. Поняття «нейрон» і «нейронні мережі». Основи оптимізації характеристик функціонування мережі - метод найшвидшого спуску.

Тема 3.2. Багатошаровий перцептрон та алгоритм зворотного поширення похибки

Тема 3.3. Нейронні мережі на основі радіальних базисних функцій

Розділ 4. Методи нечіткого моделювання

Тема 4.1. Нейронечіткі мережі ANFIS, Ванга-Менделя, Такагі-Сугено-Канга.

Тема 4.2. Нечітке моделювання на основі методу нечіткої кластеризації даних

Тема 4.3. Нечітке моделювання на основі генетичного алгоритму

Тема 4.4. Нечітке моделювання на основі Дерева розв'язків (класифікації)

Тема 4.5. Нейронечіткі мережі як засіб обробки знань в медицині

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Добровська Л. М. Нечіткі моделі в медицині. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» для всіх спеціалізацій / Л. М. Добровська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 23,1 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020 – 315 с.

Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27534>

Додаткова література:

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 284 с.

2. Добровська Л. М. Теорія та практика нейронних мереж: навч. посіб. / Л.М. Добровська, І. А. Добровська. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2015. – 396 с.

Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49841>

3. Експертні системи в медицині: метод. вказівки до практ. занять з дисципліни / Уклад.

¹ За наявності розділів

Л.М. Добровська. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2015. – 396 с.

4. Основи програмування: метод. вказівки до виконання комп. практикумів на PYTHON /Уклад. Л.М.Добровська. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 254 с.

5. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – К.: Изд. дом “Слово”, 2008.– 344 с.

6. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

7. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. - Винница, 1996. - 132 с.

8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.

9. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер.с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний (Адаптивные и интеллектуальные системы), 2009. – 798 с.

10. Horia-Nicolai L Teodorescu, Abraham Kandel, Lakhmi C. Jain Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine (International Series on Computational Intelligence) 1st Edition, 1998. – 433 pp. [part 2]

11. Cordon Oscar, Herrera Francisco, Hoffmann Frank, Magdalena Luis Genetic Fuzzy systems. Evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases. – World Scientific, 2001. – Singapore, New Jersey, London, Hong Kong. - 462 p.

12. James C. Bezdek, James Keller, Raghu Krisnapuram, Nikhil R. Pal Fuzzy models and algorithms for pattern recognition and image processing. – United States of America, 199. – 785 p.

13. Jang, Jyh-Shing Roger Neuro-fuzzy and soft computing: a computation approach to learning and machine intelligence / Jyh-Shing Roger Jang, Chuen-Tsai Sun, Eiji Mizutani. – USA, 1997. – 640 p.

14. Szczepaniak Piotr S., Lisboa Paulo J.G. Fuzzy Systems in Medicine, 2000. – 292 pp.

Інформаційні ресурси

Електронний кампус.

Google classroom «Основи нечітких моделей в медицині».

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Інформація (за розділами, темами) про всі навчальні заняття

№ з/п	Тема	Програмні результати навчання	Основні завдання	
			Контрольний захід	Термін виконання
	Тема 1.3. Основні поняття теорії нечітких множин: нечіткі множини	ПР 4	Лабораторна робота 1	1-й тиждень ²
	Тема 2.3. Алгоритми нечіткого виведення	ПР 4	Лабораторна робота 2.1.	2-й тиждень
	Тема 2.3. Алгоритми нечіткого виведення	ПР 4	Лабораторна робота 2.2	3-й тиждень
	Тема 2.3. Алгоритми нечіткого виведення	ПР 4	Лабораторна робота 3.1	4-й тиждень

№ з/п	Тема	Програмні результати навчання	Основні завдання	
			Контрольний захід	Термін виконання
	Тема 2.3. Алгоритми нечіткого виведення Тема 2.4. Нечітка модель як універсальний апроксиматор	ПР 4	Лабораторна робота 3.2	5-й тиждень
	Тема 3.2. Багатошаровий перцептрон та алгоритм зворотного поширення похибки	ПР 4	Лабораторна робота 4.1	6-й тиждень
	Тема 3.3. Нейронні мережі на основі радіальних базисних функцій	ПР 4	Лабораторна робота 4.2	7-й тиждень
	Тема 4.1. Нейронечіткі мережі ANFIS, Ванга-Менделя, Такагі-Сугено-Канга. 1) нейронечіткі мережі ANFIS - ANFIS як універсальний апроксиматор.	ПР 4	Лабораторна робота 5	8-9-й тижні
	Тема 4.4. Нечітке моделювання на основі Дерева розв'язків (класифікації) Алгоритми 1) CART, 2) C4.5 (ID3). Приклади реалізації.	ПР 4	Лабораторна робота 6.1	10-й тиждень
	Тема 4.4. Нечітке моделювання на основі Дерева розв'язків (класифікації) РБФ–мережа, сформована на основі Дерева класифікації	ПР 4	Лабораторна робота 6.2	11-й тиждень
	Тема 4.2. Нечітке моделювання на основі методу нечіткої кластеризації даних	ПР 4	Лабораторна робота 7.1, 7.2	12-й тиждень
	Тема 4.3. Нечітке моделювання на основі генетичного алгоритму	ПР 4 ПР 19 ПР 20	Лабораторна робота 8	13-й тиждень
		ПР 4 ПР 19 ПР 20	МКР	14-й тиждень
		ПР 4 ПР 19 ПР 20	Екзамен	

Рекомендації щодо засвоєння навчальних занять (у формі деталізованого опису кожного заняття та запланованої роботи)

Лекційні заняття

№ з/п	Теми лекційних занять	Кількість год
-------	-----------------------	---------------

1	<p><u>Організація обчислень і програмування в системі MatLab</u></p> <p>1. Загальна характеристика системи MatLab та організація обчислень</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основні прийоми роботи у вікні команд 2. Графічні можливості системи 3. Організація основних обчислень в системі 4. Синтаксис основних допустимих операцій над масивами та матрицями даних <p>2. М-файли в системі (сценарії та функції). Приклади</p> <p><u>Нечіткі та нейро-нечіткі системи в медицині</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вступ. Історія застосування нечітких і нейро-нечітких систем в медицині. 2. Поняття «система». Класифікація систем на статичні та динамічні 3. Модель системи. Нечітка модель: різновиди, області використання <p><u>Основні поняття теорії нечітких множин: нечіткі множини</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поняття «нечітка множина». Способи визначення нечіткої множини. 2. Види функцій належності, їх опис та параметризація. 3. Методи визначення функцій належності нечітких множин. 4. Основні характеристики нечітких множин. 5. Основні операції над нечіткими множинами. 6. Нечіткі оператори: трикутні норми та конорми (з використанням і без використання параметрів). 7. Лінгвістичні модифікатори нечітких множин. 8. Нечітка та лінгвістична змінні. 9. Нечіткі множини «істина» та «хибність». 	2
2	<p><u>Основні поняття теорії нечітких множин: нечіткі відношення</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поняття «нечітке відношення». Способи визначення нечітких відношень. 2. Основні характеристики нечітких відношень. 3. Основні операції над нечіткими відношеннями. 4. Композиція бінарних нечітких відношень. 5. Проекція нечітких відношень. 6. Бінарні нечіткі відношення, визначені на одному універсумі. Операція транзитивного замикання. 7. Приклади. <p><u>Арифметичні операції над нечіткими числами</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нечіткі величини, числа та інтервали. 2. Нечітке відображення. Принцип узагальнення: <ul style="list-style-type: none"> - система SISO (один вхід – один вихід); - система MISO (декілька входів – один вихід). 3. Арифметичні операції над нечіткими числами. Приклади. 	2
3	<p><u>Основи нечіткої логіки</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поняття «нечітке висловлювання» та «нечіткий предикат». 2. Основні логічні операції над елементарними нечіткими висловлюваннями. 3. Методи виведення висновків у системах нечітких правил. Приклади використання механізмів виведення. 4. Приклади розв'язання задач з використанням прямого методу виведення на 	2

	основі нечітких моделей.	
4	<p><u>Структура та складові нечіткої моделі</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зображення нечіткої моделі у вигляді структури даних. 2. Типова структура нечіткої моделі. Основні елементи та операції в нечітких моделях: фазифікація, приведення до чіткості (дефазифікація) результуючої функції належності, виведення з бази правил. 3. Параметрична оптимізація кінцевої бази нечітких правил. 	2
5	<p><u>Властивості правил, бази правил і нечітких моделей</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основні властивості правил, баз правил і нечітких моделей: 1) локальний характер правил, 2) залежність кількості правил від кількості вхідних параметрів та нечітких множин, 3) повнота нечіткої моделі, 4) не протиріччя бази правил, 5) зв'язність бази правил, 6) надлишок бази правил. 2. Рекомендації з побудови бази правил для різних варіантів розташування опорних точок: 1) в кутах прямокутних сегментів сітки розбиття; 2) в центрі сегментів сітки розбиття. 3. Скорочення бази правил. 4. Приклади розв'язання задач. 	2
6	<p><u>Алгоритми нечіткого виведення</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритми нечіткого виведення: введення нечіткості, агрегування степеню істинності умов правил, активізація висновків правил, аккумулявання активізованих висновків, приведення до чіткості. 2. Алгоритм нечіткого виведення Мамдані: <ul style="list-style-type: none"> Крок 1. Оцінка ступеня виконання умови. Крок 2. Визначення активізованих функцій належності висновків окремих правил при заданих входах нечіткої моделі. Крок 3. Визначення результуючої функції належності. <p>Приклади реалізації</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. Алгоритми нечіткого виведення: Ларсена, Такагі-Сугено, алгоритм на основі нечіткої моделі з адаптацією операцій над нечіткими множинами. <p><u>Нечітка модель як універсальний апроксиматор</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нечітка модель Мамдані як універсальний апроксиматор (теорема Коско, Ванга, Кастро) 2. Нечітка модель Такагі-Сугено як універсальний апроксиматор 3. Порівняння ефективності алгоритмів нечіткого виведення на нечітких моделях Мамдані та Сугено 0-го порядку. <p><u>Формування бази нечітких правил на основі прикладів навчання</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Приклад формування бази нечітких правил на основі прикладів навчання <p><u>Екстраполяція на основі нечітких моделей</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Екстраполяція нульового та першого порядків. 2. Приклад <p><u>Нечіткі реляційні моделі</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Нечіткі реляційні моделі. 2. Реляційне подання нечіткого виведення з використанням Бази правил 	2

7	<u>Штучний нейрон та його складові.</u> <u>Багатошаровий перцептрон та алгоритм зворотного поширення похибки.</u> 1. Структура БП. Метод найшвидшого спуску. 2. Алгоритм зворотного поширення похибки. Приклади розв'язання задач <u>РБФ-мережі</u> 1. Структура РБФ-мережі. 2. Гібридний алгоритм навчання. Приклади розв'язання задач	2
8	<u>Методи нечіткої кластеризації. Нечітке моделювання на основі методу нечіткої кластеризації даних</u> 1. Загальна характеристика задач кластерного аналізу. Задача нечіткої кластеризації та алгоритм її розв'язання. 2. Алгоритм розв'язання задачі нечіткої кластеризації методом нечітких с-середніх 3. Алгоритм розв'язання задачі нечіткої кластеризації методом, який базується на нечіткому відношенні еквівалентності	2
9	<u>Нечітке моделювання на основі Бінарного генетичного алгоритму. Бінарний генетичний алгоритм</u> 1. Генетичний алгоритм. Бінарний генетичний алгоритм. Приклад 2. Самоорганізація і самоналаштування нечітких моделей методами пошуку	2
10	<u>Нечітке моделювання на основі Дерев класифікації</u> 1. Древа класифікації. Алгоритми 1) CART, 2) C4.5 (ID3). Приклади реалізації.	2
11	<u>Нечітке моделювання на основі Дерев класифікації</u> 2. РБФ–мережа, сформована на основі Древа класифікації. Приклади реалізації.	2
12	<u>Нечітке моделювання:</u> 1) <u>нейронечіткі мережі ANFIS</u> 1. Архітектура ANFIS. 2. Гібридний алгоритм навчання. 3. ANFIS як універсальний апроксиматор. 4. Приклади розв'язання задач. 2) <u>удосконалення нейронечіткого моделювання</u> 1. Виявлення істотних і неістотних входів моделі. 2. Самоорганізація та налаштування параметрів нечіткої моделі з використанням: - геометричного методу визначення точок максимуму абсолютної похибки; - методів кластеризації та побудови індуктивних дерев розв'язків; - методів пошуку. 3. Древа класифікації. Алгоритми CART, C4.5 та їхнє використання для визначення деяких параметрів нейронечіткої мережі. 4. Методи кластеризації як інструмент налаштування нечіткої моделі:	2

	- загальна характеристика задач кластерного аналізу; - задача нечіткої кластеризації та алгоритм її розв'язання за допомогою методу нечітких k-середніх (K-Means).	
13	<i>Нейронечіткі мережі: нейронечіткі мережі з параметричною оптимізацією правил на основі алгоритмів навчання</i> 1. Нейронечітка мережа Ванга-Менделя. 2. Нейронечітка мережа Такагі-Сугено-Канга. 3. Перетворення нечіткої моделі Мамдані в нейронечітку мережу. 4. Перетворення нечіткої моделі Такагі-Сугено в нейронечітку мережу.	2
14	<i>Нейронечіткі мережі як засіб обробки знань в медицині</i> 1. Основні напрямки застосування нечітких моделей в медицині: обробка сигналів; обробка та інтерпретація зображень; управління, діагностика і терапія; системи, засновані на знаннях. 2. Система діагностики раку молочної залози. 3. Система диференціальної діагностики хвороб ішемії серця.	2
РАЗОМ		28

Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять (*комп'ютерного практикуму*) – здобуття практичних навичок розв'язання медичних задач на основі нечіткої логіки; проектування, розробка та експлуатація систем нечіткого логічного виведення.

<i>№ з/п</i>	<i>Тематика лабораторних робіт</i>	<i>Кількість год</i>
1	Розділ 1. Основні поняття теорії нечітких множин - визначення заданих нечітких множин, при необхідності застосувати модифікатори (формалізувати та виконати параметризацію); - побудова графіків функцій належності визначених нечітких множин із та без використання внутрішніх функцій в системі MatLab; на мові Python, бібліотека scfuzzy.	2
2	Розділ 2. Нечіткі моделі на основі нечіткої логіки - нечітка модель Мамдані/Ларсена: -реалізація алгоритму виведення на основі нечіткої моделі Мамдані (Ларсена); -розробка системи нечіткого виведення в інтерактивному режимі (на основі пакету Fuzzy Logic Toolbox).	2
3	- нечітка модель Мамдані/Ларсена - розробка системи нечіткого виведення (в середовищі MatLab та на мові python 3.*).	2
4	- нечітка модель Сугено	2

	- розробка системи нечіткого виведення (режим команд на основі пакету Fuzzy Logic Toolbox в середовищі MatLab)	
5	Нечіткі моделі на основі нечіткої логіки - порівняння ефективності використання алгоритмів нечіткого виведення Мамдані та Сугено 0-го порядку (режим команд на основі пакету Fuzzy Logic Toolbox в середовищі MatLab)	2
6	Розділ 3. Деякі відомості з теорії нейронних мереж Багатошаровий перцептрон та алгоритм зворотного поширення похибки (середовище системи MatLab, інтегральне середовище мови python 3.*)	2
7	РБФ–мережі: гібридний алгоритм навчання (середовище системи MatLab, інтегральне середовище мови python 3.*)	2
8	Розділ 4. Методи нечіткого моделювання (моделі із самоналаштуванням параметрів нечітких моделей) Нейронечітка мережа ANFIS. Автоматична генерація функцій належності	2
9	Моделі із використанням РБФ–мережі та Дерев класифікації Алгоритми побудови Дерев класифікації: C4.5 і CART.	2
10	РБФ–мережа, сформована на основі Дерева класифікації	2
11	Нечітка кластеризація даних. Алгоритм нечіткої кластеризації даних FCM <u>Нейронечіткі моделі</u> : методи кластеризації як інструмент налаштування нечіткої моделі	2
12	Бінарний (неперервно-визначений) генетичний алгоритм Нечітке моделювання на основі генетичного алгоритму	2
13	<i>МКР</i>	2
	<i>РАЗОМ</i>	26

6. Самостійна робота студента

(підготовка до аудиторних занять, проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях, розв'язок задач, написання індивідуального завдання, виконання розрахункової роботи, виконання домашньої контрольної роботи тощо):

№ з/п	Види самостійних робіт	Кіль-ть год
1.	Опрацювання теоретичного матеріалу, розглянутого на лекціях	30

2.	Розв'язок задач і проведення розрахунків за тематикою лабораторних	26
3	Підготовка до екзамену	3
4.	Підготовка до написання МКР, РР	4
Разом		66

З дисципліни рекомендовано проведення індивідуального семестрового завдання у формі розрахункової роботи (РР).

Основна ціль РГР: вирішення поставленої практичної навчальної задачі, а саме комп'ютерне моделювання біологічних систем, прийняття рішень з використанням вивченого на лекційних та практичних заняттях, а також самостійно вивченого теоретичного матеріалу з обов'язковим застосуванням сучасних систем прийняття рішень.

Розробка системи повинна спиратися на використання ООП.

Приблизна тематика РГР: типи задач

1-3. **Класифікатор/апроксиматор/елемент системи управління у вигляді нечіткої моделі на основі методів нечіткої логіки** (нечіткої бази правил): Мамдані, Ларсена, Сугено.

4. **Класифікатор у вигляді нечіткої моделі, сформованої на основі методу пошуку з використанням генетичного алгоритму.**

5-6. **Класифікатор на основі Дерева розв'язків (CART, C4.5):** класифікація двовимірна, багатовимірна.

7-8. **Методи кластеризації як інструмент налаштування нечіткої моделі** (визначення сітки розбиття для нечіткої моделі на основі алгоритму кластеризації):

- метод одновимірної кластеризації: 1) k-середніх,

- методи багатовимірної кластеризації: 1) k-середніх із використанням кумулятивного підходу, 2) FCM,

9. **Дерева розв'язків як інструмент налаштування нечіткої моделі**

10. Автоматична генерація функцій належності за допомогою індуктивних суджень.

Самоорганізація та налаштування параметрів нечіткої моделі з використанням:

1) методів кластеризації, 2) побудови індуктивних дерев розв'язків; 3) методів пошуку.

I. Нейронечітка мережа ANFIS.

11-12. **Класифікатор/апроксиматор у вигляді нейронечіткої моделі ANFIS:** на основі реалізації алгоритму нечіткого виведення Ванга-Менделя, Такагі-Сугено-Канга.

II. РБФ-мержа (з використанням нейронів у вигляді функції Гаусса)

13-16. **Класифікатор/апроксиматор з використанням**

- Дерева розв'язків (CART, C4.5),

- методу пошуку (ГА),

- методу кластеризації FCM (заняття 21).

III. 17-18. Система прогнозу у вигляді:

- РБФ-мержі,

- нейронечіткої моделі ANFIS.

IV. Використання генетичного алгоритму (ГА)

19. Класифікатор у вигляді нечіткої моделі, сформованої на основі методу пошуку у вигляді генетичного алгоритму,

20. Класифікатор у вигляді багатозарового перцептрону, сформованого на основі методу пошуку у вигляді генетичного алгоритму.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекційних і лабораторних занять не є обов'язковим. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал, оцінюється рівень його засвоєння в ході усного опитування, розвиваються уміння і навички, необхідні для виконання завдань в рамках самостійної роботи.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, що здатні розвинути практичні уміння та навички.

Пропущені контрольні заходи

Лабораторні роботи, що подаються на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або заліку / іспиту), оцінюються зі штрафними балами.

Лабораторні роботи, що подаються на перевірку з порушенням терміну виконання та після терміну виставлення поточної атестації (або заліку / екзамену), не оцінюються.

Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали*	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Активна участь в ході усних опитувань і	+1 бал	Порушення термінів виконання практичних робіт (за кожен таку роботу)	-1 бал
Участь у міжнародних, всеукраїнських та/або інших заходах або конкурсах за тематикою навчальної дисципліни	+5 балів	Несвоєчасне написання модульної контрольної роботи	Від -2 до -8 балів (залежить від терміну здачі)

* якщо контрольний захід був пропущений з поважної причини (хвороба, яка підтверджена довідкою встановленого зразку) – штрафні бали не нараховуються.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами.

Студент має право оскаржити результати контрольного заходу згідно затвердженого

положення Про апеляції в КПІ імені Ігоря Сікорського (затверджено наказом №НОН/128/2021 від 20.05.2021 р.) - <https://osvita.kpi.ua/index.php/node/182>

Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна “Проектування інформаційних систем” може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім студентів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп’ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

Дистанційне навчання

Дистанційне навчання відбувається через Платформу дистанційного навчання “Сікорський”/“Google клас”.

Дистанційне навчання через проходження додаткових он-лайн курсів за певною тематикою не допускається.

Список курсів пропонується викладачем після виявлення бажання студентами (оскільки банк доступних курсів поновлюється майже щомісяця).

Виконання контрольних заходів може здійснюється під час самостійної роботи студентів у дистанційному режимі (з можливістю консультування з викладачем через електронну пошту, соціальні мережі).

Навчання іноземною мовою

Навчання англійською мовою здійснюється лише для студентів-іноземців.

За бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою англійських онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Система оцінювання (поточний контроль):

№ з/п	Контрольний захід	%	Ваговий бал	Кількість	Всього
	Практична робота	40	3	13	40
	Модульна контрольна робота	10	11	1	14
	РР	20	20	1	6
	Екзамен	30	30	1	40
	Всього				100

Календарний контроль (КК) – провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу. Метою проведення календарного контролю є підвищення якості навчання студентів та моніторинг виконання графіка освітнього процесу студентами.

Умови отримання	Критерій	Перший КК	Другий КК
	Термін календарних контролів	8-ий тиждень	14-ий тиждень

позитивного результату з календарного контролю	Поточний рейтинг		≥ 10,5 балів	≥ 22,5 бали
	Виконання практичних робіт	№№ 1-6 №№ 7-13	+	-
	МКР	Оцінено МКР	-	+

У разі виявлення академічної не доброчесності під час навчання – контрольний захід не зараховується.

Семестрова атестація студентів

Обов'язкова умова допуску до екзамену		Критерій
1	Поточний рейтинг	RD ≥ 30
2	Захищено всі практичні роботи	Більше 27 балів
3	Виконання модульної контрольної роботи	Більше 9 балів
4	Виконання і захист курсової роботи	Більше 60 балів

Результати оголошуються кожному студенту окремо у присутності на контрольному заході або в дистанційній формі (е-поштою, в системі «Сікорський»). Також фіксуються в системі «Електронний кампус».

Необов'язкові умови допуску до екзамену:

1. Активність на практичних заняттях.
2. Позитивний результат першої атестації та другої атестації.
3. Відвідування лекційних занять.

Таблиця переведення рейтингових балів до оцінок за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка за університетською шкалою
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Екзамен проводиться в письмовій формі.

На екзамені студентам не дозволяється чим-небудь користуватись.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік питань для підготовки до екзамену наведено у Додатку 1.

Дистанційне навчання через проходження додаткових онлайн-курсів за певною тематикою допускається, за умови погодження зі студентами.

У разі, якщо невелика кількість студентів має бажання пройти онлайн-курс за певною тематикою, вивчення матеріалу за допомогою таких курсів допускається, але студенти повинні виконати всі завдання, що передбачені програмою навчальної дисципліни.

Список курсів пропонується викладачем після виявлення бажання студентами, оскільки банк доступних курсів поновлюється майже щомісяця.

Студент надає документ, що підтверджує проходження дистанційного курсу (у разі проходження повного курсу), або надає виконані практичні завдання з дистанційного курсу та, за умови проходження усної співбесіди з викладачем за пройденими темами, може отримати оцінки за контрольні заходи, що передбачені за вивченими темами.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

к.п.н., доцентом, доцентом каф. БМК Добровською Людмилою Миколаївною,

Ухвалено кафедрою біомедичної кібернетики (протокол №_1_ від 26.08.2022р.)

Погоджено Методичною комісією факультету біомедичної інженерії (протокол №_1_ від 30.08.2022р)

Кож­не зав­дан­ня ви­би­раєть­ся з різ­них бло­ків.

БЛОК ПИТАНЬ № 1. (осно­ви те­орії не­чіт­ких мно­жин)

1. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ка мно­жи­на». На­ведіть при­кла­ди не­чіт­ких мно­жин три­кут­но­го ти­пу.
2. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ка мно­жи­на». На­ведіть при­кла­ди S-по­діб­них не­чіт­ких мно­жин.
3. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ка мно­жи­на». На­ведіть при­кла­ди Z-по­діб­них не­чіт­ких мно­жин.
4. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ка мно­жи­на». На­ведіть при­кла­ди не­чіт­ких мно­жин тра­пе­ціє­по­діб­но­го ти­пу.
5. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ка мно­жи­на». На­ведіть при­кла­ди π -по­діб­них не­чіт­ких мно­жин (мно­жин ти­пу Гаус­са).
6. Які Ви зна­єте ос­но­вні ха­рак­те­ри­сти­ки не­чіт­ких мно­жин, на­ведіть при­кла­ди.
7. Які Ви зна­єте ос­но­вні різ­но­ви­ди функ­цій на­леж­но­сті, на­звіть їх пе­ре­ва­ги та не­до­лі­ки
8. опи­шіть ос­но­вні ме­то­ди ви­зна­чен­ня функ­цій на­леж­но­сті не­чіт­ких мно­жин.
9. На­ведіть при­кла­ди з ви­ко­ри­стан­ням опе­ра­цій пе­ре­ти­ну (звичай­но­го, ал­ге­браїч­но­го), об’єд­нан­ня (звичай­но­го, ал­ге­браїч­но­го).
10. На­звіть ос­но­вні мо­ди­фі­ка­то­ри не­чіт­ких мно­жин, опи­шіть їх.
11. Да­йте ви­зна­чен­ня та на­ведіть при­кла­ди не­чіт­ких опе­ра­то­рів t-но­рма.
12. Да­йте ви­зна­чен­ня та на­ведіть при­кла­ди не­чіт­ких опе­ра­то­рів t-ко­но­рма.
13. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тя «не­чіт­ке від­но­ше­н­ня», на­ведіть при­кла­ди. Які Ви зна­єте спо­со­би ви­зна­чен­ня не­чіт­ких від­но­ше­нь.
14. опи­шіть (на­ведіть при­кла­ди) ос­но­вні опе­ра­ції над не­чіт­ки­ми від­но­ше­н­ня­ми.
15. опи­шіть (на­ведіть при­клад) опе­ра­цію ко­мп­ози­ції бі­нар­них не­чіт­ких від­но­ше­нь. Які і­с­нують ви­ди цієї опе­ра­ції, на­ведіть при­кла­ди.
16. Які Ви зна­єте ос­но­вні ха­рак­те­ри­сти­ки не­чіт­ких від­но­ше­нь.
17. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тям «еле­мен­тар­не не­чіт­ке ви­сло­в­лю­ван­ня, не­чіт­кий пре­ди­кат», на­ведіть при­кла­ди. опи­шіть ос­но­вні ло­гіч­ні опе­ра­ції над еле­мен­тар­ни­ми не­чіт­ки­ми ви­сло­в­лю­ван­ня­ми.
18. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тям «не­чіт­ка змін­на; не­чіт­кі і­сти­на та хиб­ність», на­ведіть при­кла­ди.
19. Ви­зна­чіть по­нят­тя «лін­гві­стич­на змін­на», на­ведіть при­кла­ди.
20. На­ведіть при­клад ари­ф­ме­тич­ної опе­ра­ції над не­чіт­ки­ми чис­ла­ми
21. Да­йте ви­зна­чен­ня по­нят­тям «не­чіт­кі ве­ли­чи­ни, чис­ла та ін­тер­ва­ли», на­ведіть при­кла­ди.
22. На­звіть та опи­шіть ос­но­вні опе­ра­то­ри не­чіт­кої ім­п­лі­ка­ції.

БЛОК ПИТАНЬ № 2. (осно­ви те­орії не­чіт­ких мо­делей)

1. опи­шіть пря­мий ме­то­д ви­ве­ден­ня ви­с­но­в­ків у си­сте­мах не­чіт­кої ло­гі­ки, на­ведіть при­кла­ди ви­ко­ри­стан­ня.

2. Опишіть типову структуру системи нечіткої логіки з використанням зображення системи у вигляді структури даних

3. Опишіть такі основні елементи та операції в нечітких моделях: фазифікація, приведення до чіткості (дефазифікація) результуючої функції належності, виведення з бази правил.

4. Опишіть два існуючі методи виведення з бази правил.

5. Назвіть основні властивості правил, баз правил і нечітких моделей.

6. Поясніть, в чому полягає сутність параметричної оптимізації кінцевої бази нечітких правил

7. Наведіть приклади побудови бази правил для різних варіантів розташування опорних точок: випадок, коли опорні точки, визначені правилами, розміщуються 1) в кутах прямокутних сегментів сітки розбиття; 2) в центрі сегментів сітки розбиття.

8. Наведіть приклади, коли скорочення бази правил є ефективним.

9. Опишіть алгоритм нечіткого виведення Такагі-Сугено

10. Опишіть алгоритм нечіткого виведення Мамдані.

11. Опишіть алгоритм нечіткого виведення Ларсена.

12. Що Вам відомо щодо здатності нечітких моделей до апроксимації функціональної залежності вхід-вихід (використання нечітких моделей в якості універсальних апроксиматорів).

13. Опишіть алгоритм С4.5, коли атрибути приймають значення із визначеного інтервалу. Опишіть метод його використання для налаштування параметрів нечіткої моделі.

14. Опишіть алгоритм CART та метод його використання для налаштування параметрів нечіткої моделі.

15. Опишіть нейронечітку мережу ANFIS (архітектура, гібридний алгоритм навчання).

16. Опишіть процедуру перетворення нечіткої моделі Мамдані в нейронечітку мережу.

17. Опишіть алгоритм ID3, коли атрибути приймають значення із визначеного інтервалу. Опишіть метод його використання для налаштування параметрів нечіткої моделі.

18. Опишіть алгоритм налаштування параметрів нечіткої моделі з використанням генетичних алгоритмів.

19. Опишіть неперервний генетичний алгоритм.

20. Опишіть бінарний генетичний алгоритм.

21. Опишіть алгоритм налаштування параметрів нечіткої моделі з використанням методу кластеризації FCM - fuzzy c-means.

22. Опишіть алгоритм кластеризації FCM - fuzzy c-means. Наведіть приклад

БЛОК ПИТАНЬ № 3.

1. Багат шаровий перцептрон. Нехай задано мережу (рис. 1), початкові значення ваги та зсуву якої мають такий вигляд: $w^1(0) = -1, b^1(0) = 1; w^2(0) = -2; b^2(0) = 1$. На вхід мережі подається пара вхід-ціль $\{p = -1, t = 1\}$. Виконати одну ітерацію алгоритму зворотного поширення, якщо $\alpha = 1$.

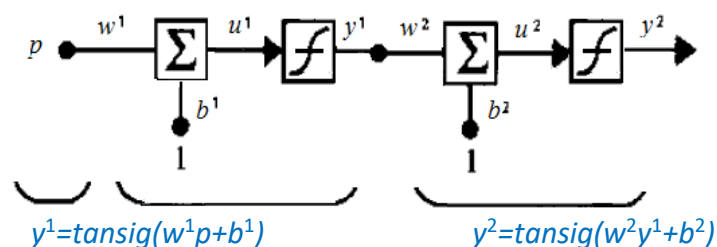


Рис. 1. Мережа із двома сигмоїдними шарами

2.1. РБФ-мережа. Розглянемо реалізацію логічної функції виключна диз'юнкція від двох змінних. Нехай задані чотири бінарних вектори входу і зв'язаний з ними вихідний вектор \mathbf{t} , які мають вигляд: $\mathbf{p}_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{p}_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{p}_3 = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{p}_4 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$, $\mathbf{t} = [-1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$. Спроектувати РБФ-мережу, використовуючи лінійну РБФ вигляду $\phi(\mathbf{p}) = \|\mathbf{p} - \mathbf{c}_i\|$, яка складається з 4 -ох РБФ з центрами $\mathbf{c}_i = \mathbf{p}_i$.

2.2. РБФ-мережа. Розглянемо реалізацію логічної функції виключна диз'юнкція від двох змінних.

У двовимірному вхідному просторі розглядаються чотири точки (вектори): $[0, 0]^T$, $[0, 1]^T$, $[1, 0]^T$ і $[1, 1]^T$. Побудувати класифікатор, який відносить точки $[0, 1]^T$ і $[1, 0]^T$ до класу 1, а точки $[0, 0]^T$ і $[1, 1]^T$ – до класу 0. Це означає, що найближчі одна до одної точки у вхідному просторі (в сенсі відстані Хеммінга) відображаються в області, які максимально віддалені одна від одної в вихідному просторі.

2.3. РБФ-мережа. Побудувати класифікатор, який відносить точки $[0 \ 1]^T$ і $[1 \ 0]^T$ до класу «1», а точки $[0 \ 0]^T$ і $[1 \ 1]^T$ – до класу «0» за допомогою ГРБФ-мережі, яка складається з двох функцій Гаусса $G(|\mathbf{p} - \mathbf{c}_i|) = \exp(-|\mathbf{p} - \mathbf{c}_i|^2)$, $i = 1, 2$ з центрами \mathbf{c}_1 і \mathbf{c}_2 : $\mathbf{c}_1 = [1 \ 1]^T$; $\mathbf{c}_2 = [0 \ 0]^T$. Для описання вихідного елемента введемо такі припущення.

1. Функціонування вихідного нейрона основане на спільному використанні ваги, що обумовлено симетричним характером завдання. Це одна з форм включення апріорної інформації у конструкцію мережі. Таким чином, за наявності двох прихованих нейронів необхідно визначити одну вагу \mathbf{w} .

2. Вихідний нейрон має незалежну від даних змінну b . Важливість цього елемента пояснюється тим, що функція виключна диз'юнкція має середнє значення, відмінне від нуля.

2.4. РБФ-мережа. Розглянемо реалізацію логічної функції виключна диз'юнкція від двох змінних.

У двовимірному вхідному просторі розглядаються чотири точки (вектори): $[0, 0]^T$, $[0, 1]^T$, $[1, 0]^T$ і $[1, 1]^T$. Побудувати класифікатор, який відносить точки $[0, 1]^T$ і $[1, 0]^T$ до класу 1, а точки $[0, 0]^T$ і $[1, 1]^T$ – до класу 0. Це означає, що найближчі одна до одної точки у вхідному просторі (в сенсі відстані Хеммінга) відображаються в області, які максимально віддалені одна від одної в вихідному просторі.

3.1. Метод найшвидшого спуску. Застосувати метод найшвидшого спуску до функції $F(\mathbf{x}) = x_1^2 + 2x_1x_2 + 2x_2^2 + x_1 = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \begin{bmatrix} 2 & 2 \\ 2 & 4 \end{bmatrix} \mathbf{x} + [1 \ 0] \mathbf{x}$, розпочавши з припущення $\mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} 0,5 \\ 0,5 \end{bmatrix}$.

Використати стале значення коефіцієнта навчання $\alpha = \alpha_k = 0,1$. Виконати два кроки алгоритму найшвидшого спуску.

3.2. Метод найшвидшого спуску. Застосувати метод найшвидшого спуску до функції $F(\mathbf{x}) = 5x_1^2 - 6x_1x_2 + 5x_2^2 + 4x_1 + 4x_2 = \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \begin{bmatrix} 10 & -6 \\ -6 & 10 \end{bmatrix} \mathbf{x} + [4 \ 4] \mathbf{x}$, розпочавши з припущення

$\mathbf{x}_0 = \begin{bmatrix} -0,5 \\ -0,5 \end{bmatrix}$. Використати стале значення коефіцієнта навчання $\alpha = \alpha_k = 0,1$. Виконати два кроки алгоритму найшвидшого спуску.

4.1. ANFIS. Побудувати гібридну нейронну мережу реалізації механізму суджень Сугено із двома вхідними змінними, двома лінгвістичними значеннями для кожної із вхідних змінних і такими двома нечіткими правилами «if-then».

R1: if x is A1 and y is B1 then $z_1 = a_1x + b_1y$

R2: if x is A2 and y is B2 then $z_2 = a_2x + b_2y$

4.2. ANFIS. Побудувати гібридну нейронну мережу реалізації механізму суджень Ларсена із двома вхідними змінними, двома лінгвістичними значеннями для кожної із вхідних змінних і такими двома нечіткими правилами «if-then».

R1: if x is A1 and y is B1 then C1

R2: if x is A2 and y is B2 then C2

4.3. ANFIS. Побудувати гібридну нейронну мережу реалізації механізму суджень Мамдані із двома вхідними змінними, двома лінгвістичними значеннями для кожної із вхідних змінних і такими двома нечіткими правилами «if-then».

R1: if x is A1 and y is B1 then C1

R2: if x is A2 and y is B2 then C2

5. Виконати перший крок алгоритму k -кластеризації

групування заданих нижче векторів у два кластери: $\mathbf{p}_1 = [1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$; $\mathbf{p}_2 = [1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$; $\mathbf{p}_3 = [-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1]^T$; $\mathbf{p}_4 = [-1 \ 1 \ -1 \ -1 \ -1]^T$; $\mathbf{p}_5 = [-1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -1]^T$; $\mathbf{p}_6 = [-1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$.

5.1. **Визначити похибку апроксимації.** Нехай нечітка система реалізує невідоме відображення $y = f(x_1, x_2)$, але задано множину навчання $\left\{ \left(\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, y = 1 \right); \left(\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, y = 2 \right) \right\}$.

Для моделювання відображення $f(x_1, x_2)$ використана така база правил:

Правило R1: if $x_1 = \text{small}$ and $x_2 = \text{small}$ then $y = ax_1 - bx_2$

Правило R2: if $x_1 = \text{small}$ and $x_2 = \text{big}$ then $y = ax_1 + bx_2$

Правило R3: if $x_1 = \text{big}$ and $x_2 = \text{small}$ then $y = bx_1 + ax_2$

Правило R4: if $x_1 = \text{big}$ and $x_2 = \text{big}$ then $y = bx_1 - ax_2$

Тут a, b - невідомі параметри; а функції належності нечітких чисел SMALL та BIG мають вигляд:

$$\text{small}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{2}, & \text{якщо } 0 < x \leq 2; \\ 0 & \text{інакше,} \end{cases} \quad \text{big}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{2-x}{2}, & \text{якщо } 0 < x \leq 2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases}$$

Визначити похибку апроксимації $E_2(a, b)$ для другої пар навчання.

5.2. **Визначити похибку апроксимації.** Нехай нечітка система реалізує невідоме відображення $y = f(x_1, x_2)$, але задано множину навчання $\left\{ \left(\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, y = 1 \right); \left(\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}, y = 2 \right) \right\}$.

Для моделювання відображення $f(x_1, x_2)$ використана така база правил:

Правило R1: if $x_1 = \text{small}$ and $x_2 = \text{small}$ then $y = ax_1 - bx_2$

Правило R2: if $x_1 = \text{small}$ and $x_2 = \text{big}$ then $y = ax_1 + bx_2$

Правило R3: if $x_1 = \text{big}$ and $x_2 = \text{small}$ then $y = bx_1 + ax_2$

Правило R4: if $x_1 = \text{big}$ and $x_2 = \text{big}$ then $y = bx_1 - ax_2$

Тут a, b - невідомі параметри; а функції належності нечітких чисел SMALL та BIG мають вигляд:

$$\text{small}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{2}, & \text{якщо } 0 < x \leq 2; \\ 0 & \text{інакше,} \end{cases} \quad \text{big}(x) = \begin{cases} 1 - \frac{2-x}{2}, & \text{якщо } 0 < x \leq 2; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases}$$

Визначити похибку апроксимації $E_1(a, b)$ для першої пари навчання.

БЛОК ПИТАНЬ № 4. (нечіткі моделі)

1. **Виведення і дефазифікація.** Нехай маємо нечітку модель з базою правил вигляду:

R_1 : ЯКЩО ($x=A_1$) ТО ($y=B_1$), R_2 : ЯКЩО ($x=A_2$) ТО ($y=B_2$).

На рис. 1 і в табл. 1.1- 1.2 зображені функції належності нечітких множин, які використовуються в цих правилах. Використовуючи процедуру виведення *max-min методу 1*, визначити результуючу ФН $\mu_{res}(y)$ виведення з бази правил для вхідного сигналу $x = x^*=1.2$.

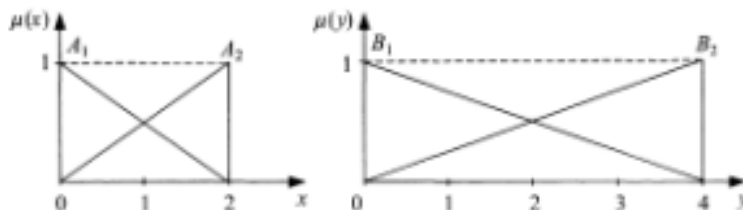


Рис. 2. Дискретні ФН нечітких множин

Таблиця 2.1. Дискретна нечітка множина B_1

y	0	0.8	1.6	2.0	2.8	3.6	4.0
$\mu_{B1}(y)$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0

Таблиця 2.2. Дискретна нечітка множина B_2

y	0	0.8	1.6	2.0	2.8	3.6	4.0
$\mu_{B2}(y)$	0	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0

2. Виведення і дефазифікація. Задано нечітке продукційне правило: «Якщо студент багато працює в бібліотеці, він отримає високу оцінку». Нехай U – множина чисел, що визначають кількість годин на тиждень, які студент може проводити в бібліотеці: $U=\{0, 3, 6, 9, 12, 18, 21, 27\}$. Якщо оцінки (рейтинги) виставляються за 100–бальною шкалою, за V можна взяти діапазон чисел від 59 до 100: $V= \{59, 72, 84, 91, 96, 100\}$.

Задано функції належності для нечітких множин A ("багато працює в бібліотеці"), B ("високий рейтинг") таким чином: $A = \{<3; 0>, <6; 0.1>, <9; 0.4>, <12; 0.6>, <18; 0.8>, <21; 1>, <27; 1.0>\}$; $B = \{<59; 0>, <72; 0.2>, <84; 0.4>, <91; 0.7>, <96; 0.9>, <100; 1>\}$.

Задано, що студент працює в бібліотеці середню кількість часу - це нечітка множина A' (середня кількість часу): $A'=\{(3, 0); (6, 0,2); (9, 0,7); (12, 1); (18, 0,6); (21, 0,2); (27, 0)\}$ (студент працює в бібліотеці 12). Яку оцінку повинен отримати студент? Застосувати імплікацію Мамдані вигляду $\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{A'}(x), \mu_B(y)\}$.

3. Виведення і дефазифікація. Нехай задані множини значень змінних $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ та $Y=\{y_1, y_2\}$. Припустимо, що має місце висловлювання у вигляді нечіткого правила "Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ", де $\bar{A} = \{<x_1; 0,5>, <x_2; 1,0>, <x_3; 0,6>\}$, $\bar{B} = \{<y_1; 1,0>, <y_2; 0,8>\}$ і задано " $x \in \bar{A}'$ ", де x – вхідна змінна, $\bar{A}' = \{<x_1; 0,6>, <x_2; 0,9>, <x_3; 0,7>\}$. Використовуючи правило виведення modus ponens визначити значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання " $y \in \bar{B}'$ ".

4. Виведення і дефазифікація. Нехай задані множини значень змінних $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ та $Y=\{y_1, y_2\}$. Припустимо, що має місце висловлювання (нечітке правило) "Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ", де $\bar{A} = \{<x_1; 0,5>, <x_2; 1,0>, <x_3; 0,6>\}$, $\bar{B} = \{<y_1; 1,0>, <y_2; 0,4>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу "Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Мамдані ($\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$).

5. Виведення і дефазифікація. Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{5, 10, 15, 20\}$, нечітке правило "Якщо $x=A$ То $y=B$ " та нечітке відношення R , яке відповідає заданому

правилу:
$$\begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,2 & 0,2 & 0,2 & 0,2 \\ 0,5 & 0,5 & 0,4 & 0,2 \\ 0,8 & 0,8 & 0,4 & 0,2 \\ 1 & 0,8 & 0,4 & 0,2 \end{pmatrix}$$
. Визначити значення висновку (вихідної змінної y), який описується за

допомогою висловлювання " $y = \overline{B}$ ", якщо задано висловлювання " $x = \overline{A}$ " (вхідна змінна x), де $\overline{A} = \{<1;0,3>, <2;0,5>, <3;1,0>, <4;0,7>, <5;0,4>\}$.

6. Виведення і дефазифікація (нечіткі моделі). Нехай задані множини значень змінних $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $Y = \{y_1, y_2\}$, і має місце висловлювання (нечітке правило) "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", де $\overline{A} = \{<x_1; 0.5>, <x_2; 1.0>, <x_3; 0.6>\}$, $\overline{B} = \{<y_1; 1.0>, <y_2; 0.4>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Мамдані вигляду $\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\overline{A}}(x), \mu_{\overline{B}}(y)\}$.

На основі правила *modus ponens* та використовуючи (*max-min*)-композицію, визначити чітке значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання " $y = \overline{B}$ ", якщо задано висловлювання " $x = \overline{A}$ " (вхідна змінна x), де $\overline{A} = \{<x_1; 0,6>, <x_2; 0,9>, <x_3; 0,7>\}$.

7. Виведення і дефазифікація. Нехай задані множини значень змінних $X = \{x_1, x_2, x_3\}$, $Y = \{y_1, y_2\}$, і має місце висловлювання (нечітке правило) "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", де $\overline{A} = \{<x_1; 0.5>, <x_2; 1.0>, <x_3; 0.6>\}$, $\overline{B} = \{<y_1; 1.0>, <y_2; 0.4>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Мамдані вигляду $\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\overline{A}}(x), \mu_{\overline{B}}(y)\}$.

На основі правила *modus ponens* та використовуючи (*max-min*)-композицію, визначити чітке значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання " $y = \overline{B}$ ", якщо задано висловлювання " $x = \overline{A}$ " (вхідна змінна x), де $\overline{A} = \{<x_1; 0,6>, <x_2; 0,9>, <x_3; 0,7>\}$.

8. Виведення і дефазифікація. Нехай задані універсуми $X = \{11, 12, 13, 14, 15\}$ та $Y = \{1, 2, 3, 4\}$. Припустимо, що має місце висловлювання (нечітке правило) "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", де $\overline{A} = \{<1;0.1>, <2;0.2>, <3;0.6>, <4;0.9>, <5;1.0>\}$, $\overline{B} = \{<1; 1.0>, <2; 0.8>, <3; 0.4>, <4; 0.2>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Лукасевича ($\mu_Q(x, y) = \min\{1, 1 - \mu(\overline{A}) + \mu(\overline{B})\}$).

9. Виведення і дефазифікація. Нехай задані універсуми $X = \{11, 12, 13, 14, 15\}$ та $Y = \{1, 2, 3, 4\}$. Припустимо, що має місце висловлювання "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", де $\overline{A} = \{<1;0.1>, <2;0.2>, <3;0.6>, <4;0.9>, <5;1.0>\}$, $\overline{B} = \{<1;1.0>, <2; 0.8>, <3; 0.4>, <4; 0.2>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу "Якщо $x = \overline{A}$, то $y = \overline{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Мамдані ($\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\overline{A}}(x), \mu_{\overline{B}}(y)\}$).

10. Виведення і дефазифікація. Нехай маємо нечітку модель з базою правил вигляду:

$$R_1: \text{ЯКЩО}(x=A_1) \text{ ТО } (y=B_1), \quad R_2: \text{ЯКЩО}(x=A_2) \text{ ТО } (y=B_2).$$

На рис. 2 і в табл. 2.1- 2.2 зображені функції належності нечітких множин, які використовуються в цих правилах. Використовуючи процедуру виведення *max-min* методу 2, визначити результуючу ФН $\mu_{res}(y)$ виведення з бази правил для вхідного сигналу $x = x^* = 1.2$.

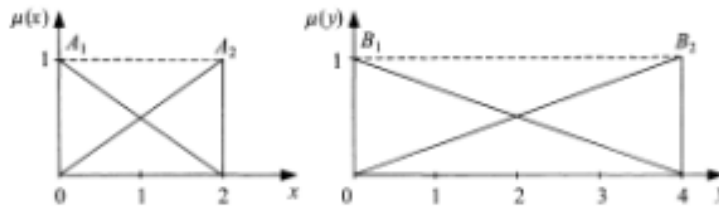


Рис. 2. Дискретні ФН нечітких множин

Таблиця 2.1. Дискретна нечітка множина V_1

y	0	0.8	1.6	2.0	2.8	3.6	4.0
$\mu_{V_1}(y)$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	0.1	0

Таблиця 2.2. Дискретна нечітка множина V_2

y	0	0.8	1.6	2.0	2.8	3.6	4.0
$\mu_{V_2}(y)$	0	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0

11. **Виведення і дефазифікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{1, 2, 3, 4\}$. Припустимо, що має місце висловлювання “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, де $\bar{A}=\{<1;0.1>, <2;0.2>, <3;0.6>, <4;0.9>, <5;1.0>\}$, $\bar{B}=\{<1;1.0>, <2;0.8>, <3;0.4>, <4;0.2>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Мамдані ($\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$)

12. **Виведення і дефазифікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{5, 10, 15, 20\}$. Припустимо, що має місце висловлювання у вигляді нечіткого правила “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, де

$$\bar{A}=\{<1;0,0>, <2;0,1>, <3;0,5>, <4;0,8>, <5;1,0>\},$$

$\bar{B}=\{<5;1,0>, <10;0,8>, <15;0,4>, <20;0,2>\}$ і задано висловлювання “ $x \in \bar{A}'$ ”, де x – вхідна змінна, $\bar{A}'=\{<1;0,3>, <2;0,5>, <3;1,0>, <4;0,7>, <5;0,4>\}$. Необхідно, використовуючи правило виведення *modus ponens* визначити значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання “ $y \in \bar{B}'$ ”.

13. **Виведення і дефазифікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{5, 10, 15, 20\}$. Припустимо, що має місце висловлювання у вигляді нечіткого правила “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, де $\bar{A}=\{<1;0,0>, <2;0,1>, <3;0,5>, <4;0,8>, <5;1,0>\}$, $\bar{B}=\{<5;1,0>, <10;0,8>, <15;0,4>, <20;0,2>\}$ і задано “ $x \in \bar{A}'$ ”, де x – вхідна змінна, $\bar{A}'=\{<1;0,3>, <2;0,5>, <3;1,0>, <4;0,7>, <5;0,4>\}$. Використовуючи правило виведення *modus ponens* визначити значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання “ $y \in \bar{B}'$ ”.

14. **Виведення і дефазифікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{1, 2, 3, 4\}$, і має місце висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, де $\bar{A}=\{<1;0.1>, <2;0.2>, <3;0.6>, <4;0.9>, <5;1.0>\}$, $\bar{B}=\{<1; 1.0>, <2; 0.8>, <3; 0.4>, <4; 0.2>\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x \in \bar{A}$, то $y \in \bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Мамдані вигляду $\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$.

На основі правила *modus ponens* та використовуючи (*max-min*)-композицію, визначити чітке значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання “ $y \in \bar{B}'$ ”, якщо задано висловлювання “ $x \in \bar{A}'$ ” (вхідна змінна x), де $\bar{A}'=\{<1;0,3>, <2;0,5>, <3;1,0>$,

$\langle 4;0,7\rangle, \langle 5;0,4\rangle$.

15. **Виведення і дефазифікація.** Нехай задані універсуми $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ та $Y=\{y_1, y_2\}$, висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ” та нечітке відношення R , яке відповідає

заданому правилу: $R = \begin{pmatrix} 1 & 0,9 \\ 1 & 0,4 \\ 1 & 0,8 \end{pmatrix}$. Визначити значення висновку (вихідної змінної y), який

описується за допомогою висловлювання “ $y=\bar{B}$ ”, якщо задано висловлювання “ $x=\bar{A}$ ” (вхідна змінна x), де $\bar{A}' = \{\langle x_1; 0,6\rangle, \langle x_2; 0,9\rangle, \langle x_3; 0,7\rangle\}$.

16. **Нечітка імплікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{1, 2, 3, 4\}$, і має місце висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, де $\bar{A} = \{\langle 1;0,1\rangle, \langle 2;0,2\rangle, \langle 3;0,6\rangle, \langle 4;0,9\rangle, \langle 5;1,0\rangle\}$, $\bar{B} = \{\langle 1; 1,0\rangle, \langle 2; 0,8\rangle, \langle 3; 0,4\rangle, \langle 4; 0,2\rangle\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Мамдані вигляду $\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$. На основі правила *modus ponens* та використовуючи (*max-min*)-композицію, визначити чітке значення висновку (вихідної змінної y), який описується за допомогою висловлювання “ $y=\bar{B}$ ”, якщо задано висловлювання “ $x=\bar{A}$ ” (вхідна змінна x), де $\bar{A}' = \{\langle 1;0,3\rangle, \langle 2;0,5\rangle, \langle 3;1,0\rangle, \langle 4;0,7\rangle, \langle 5;0,4\rangle\}$.

17. **Дефазифікація.** Нехай задано нечітку множину, що описує поняття “чоловік середнього зросту” $A = \{\langle 155; 0\rangle, \langle 160; 0,1\rangle, \langle 165; 0,3\rangle, \langle 170; 0,8\rangle, \langle 175; 1\rangle, \langle 180; 1\rangle, \langle 185; 0,5\rangle, \langle 190; 0\rangle\}$. Виконати дефазифікацію нечіткої множини A методом центра ваги.

18. **Дефазифікація.** Нехай задано нечітку множину, що описує “невелике натуральне число”: $\bar{A} = \{\langle 1;1,0\rangle, \langle 2;1,0\rangle, \langle 3;0,9\rangle, \langle 4;0,8\rangle, \langle 5;0,6\rangle, \langle 6;0,5\rangle, \langle 7;0,4\rangle, \langle 8;0,2\rangle, \langle 9;0,1\rangle\}$.

Виконати дефазифікацію нечіткої множини A методом центра ваги.

19. **Нечітка імплікація.** Нехай задані множини значень змінних $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ та $Y=\{y_1, y_2\}$. Припустимо, що має місце висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, де $\bar{A} = \{\langle x_1; 0,5\rangle, \langle x_2;1,0\rangle, \langle x_3; 0,6\rangle\}$, $\bar{B} = \{\langle y_1; 1,0\rangle, \langle y_2; 0,4\rangle\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Мамдані ($\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$).

20. **Нечітка імплікація.** Нехай задані множини значень змінних $X=\{x_1, x_2, x_3\}$ та $Y=\{y_1, y_2\}$. Припустимо, що має місце висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, де $\bar{A} = \{\langle x_1; 0,5\rangle, \langle x_2;1,0\rangle, \langle x_3; 0,6\rangle\}$, $\bar{B} = \{\langle y_1; 1,0\rangle, \langle y_2; 0,4\rangle\}$. Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Лукасевича ($\mu_Q(x, y) = \min\{1, 1 - \mu(\bar{A}) + \mu(\bar{B})\}$).

21. **Нечітка імплікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{5, 10, 15, 20\}$. Припустимо, що має місце висловлювання “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, де $\bar{A} = \{\langle 1;0,1\rangle, \langle 2;0,2\rangle, \langle 3;0,6\rangle, \langle 4;0,9\rangle, \langle 5;1,0\rangle\}$, $\bar{B} = \{\langle 5;1,0\rangle, \langle 10;0,8\rangle, \langle 15;0,4\rangle, \langle 20;0,2\rangle\}$.

Визначити нечітке відношення Q , яке відповідає правилу “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, використовуючи нечітку імплікацію Мамдані ($\mu_Q(x, y) = \min\{\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)\}$).

22. **Нечітка імплікація.** Нехай задані універсуми $X=\{1, 2, 3, 4, 5\}$ та $Y=\{5, 10, 15, 20\}$. Припустимо, що має місце висловлювання (нечітке правило) “Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ”, де $\bar{A} = \{\langle 1;0,1\rangle, \langle 2;0,2\rangle, \langle 3;0,6\rangle, \langle 4;0,9\rangle, \langle 5;1,0\rangle\}$, $\bar{B} = \{\langle 5;1,0\rangle, \langle 10;0,8\rangle, \langle 15;0,4\rangle, \langle 20;0,2\rangle\}$. Визначити

нечітке відношення Q, яке відповідає правилу "Якщо $x=\bar{A}$, то $y=\bar{B}$ ", використовуючи нечітку імплікацію Лукасевича ($\mu_Q(x, y) = \min\{1, 1 - \mu(\bar{A}) + \mu(\bar{B})\}$).

БЛОК ПИТАНЬ № 5.

1. Вихід нечіткої моделі. У табл. 4 зображена інформація взаємозв'язку входів і виходу для системи з двома входами x_1 і x_2 . Оскільки проєкції точок R_i збігаються з вузлами регулярної прямокутної сітки в просторі $X_1 \times X_2$ входів об'єкта (рис. 4), то можна безпосередньо використовувати ці точки для побудови бази правил (3) і ФН входів і виходу.

Таблиця 1

Інформація про відображення вхід-вихід, яке реалізує змодельована система

R_i	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
x_1	1	1	1	3	3	3	5	5	5
x_2	2	4	6	2	4	6	2	4	6
y	-3	1	-3	1	5	1	-3	1	-3

База правил:

R1: ЯКЩО ($x_1 \approx 1$) І ($x_2 \approx 2$) ТО ($y \approx -3$)

R2: ЯКЩО ($x_1 \approx 1$) І ($x_2 \approx 4$) ТО ($y \approx 1$)

R3: ЯКЩО ($x_1 \approx 1$) І ($x_2 \approx 6$) ТО ($y \approx -3$)

R4: ЯКЩО ($x_1 \approx 3$) І ($x_2 \approx 2$) ТО ($y \approx 1$)

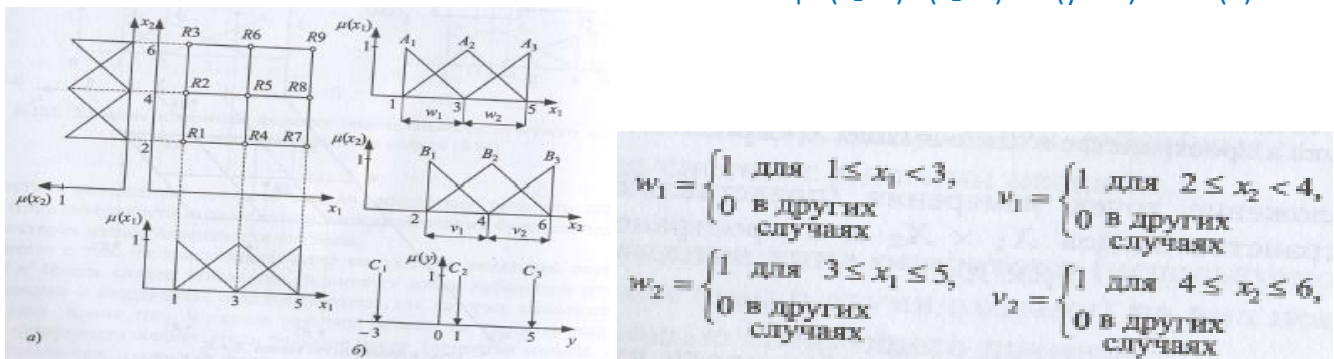
R5: ЯКЩО ($x_1 \approx 3$) І ($x_2 \approx 4$) ТО ($y \approx 5$)

R6: ЯКЩО ($x_1 \approx 3$) І ($x_2 \approx 6$) ТО ($y \approx 1$)

R7: ЯКЩО ($x_1 \approx 5$) І ($x_2 \approx 2$) ТО ($y \approx -3$)

R8: ЯКЩО ($x_1 \approx 5$) І ($x_2 \approx 4$) ТО ($y \approx 1$)

R9: ЯКЩО ($x_1 \approx 5$) І ($x_2 \approx 6$) ТО ($y \approx -3$) (3)



$A_1 =$ приблизно 1, $A_2 =$ приблизно 3, $A_3 =$ приблизно 5,
 $B_1 =$ приблизно 2, $B_2 =$ приблизно 4, $B_3 =$ приблизно 6,
 $C_1 =$ приблизно 3, $C_2 =$ приблизно 1, $C_3 =$ приблизно 5

Рис. 3. Прямокутна сітка в просторі входів системи (а), використовувані ФН входів і виходу (б), визначення логічних змінних-індикаторів w_i, v_j

Для визначення ФН входів можна використовувати логічні змінні w_i, v_j – індикатори сегментів:

$$\mu_{A_1}(x_1) = 0.5(3 - x_1)w_1, \mu_{A_2}(x_1) = 0.5(x_1 - 1)w_1 + 0.5(5 - x_1)w_2, \mu_{A_3}(x_1) = 0.5(x_1 - 3)w_2,$$

$$\mu_{B_1}(x_2) = 0.5(4 - x_2)v_1, \mu_{B_2}(x_2) = 0.5(x_2 - 2)v_1 + 0.5(6 - x_2)v_2, \mu_{B_3}(x_2) = 0.5(x_2 - 4)v_2 \quad (3)$$

Ці змінні визначені на рис. 3.б. Визначити **вихід нечіткої моделі** у вигляді виразу значення $y^*(x_1, x_2)$ при використанні для виконання операції перетину множин (І) у правилах (1) оператора PROD (алгебраїчного добутку).

2. Вихід нечіткої моделі. Розглянемо механізм логічного виведення Сугено. Нехай задана база правил: R1: if $x_1 = \text{SMALL}$ and $x_2 = \text{BIG}$ then $y = x_1 - x_2$; R2: if $x_1 = \text{BIG}$ and $x_2 = \text{SMALL}$ then $y = x_1 + x_2$; R3: if $x_1 = \text{BIG}$ and $x_2 = \text{BIG}$ then $y = x_1 + 2x_2$. Тут функції належності SMALL та BIG мають вигляд:

$$SMALL(v) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v \leq 1; \\ 1 - \frac{v-1}{4}, & \text{якщо } 1 < v \leq 5; \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}, \quad BIG(u) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } u \geq 5; \\ 1 - \frac{5-u}{4}, & \text{якщо } 1 < u \leq 5; \\ 0 & \text{інакше.} \end{cases}$$

Нехай вхід має вигляд $x = \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \end{bmatrix}$. Визначити вихід нечіткої моделі Сугено.

3. Вихід нечіткої моделі. Розглянемо нечітку модель об'єкта з двома входами, база правил якої має вигляд:

- R1: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \mid (x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 4)$ R3: ЯКЩО $(x_1 \approx 2) \mid (x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 5)$
R2: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \mid (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 13)$ R4: ЯКЩО $(x_1 \approx 2) \mid (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 16)$,

У розглянутій моделі ФН задовольняють умову розбиття одиниці (рис. 4). Для виконання операції \mid в умовах правил будемо використовувати оператор **PROD**. При обчисленні значення y_{m4} на виході моделі для вхідного вектора $X(R4) = [2 \ 2]^T$ будуть отримані такі ступені істинності умов окремих правил: $\mu_{R1}(2, 2) = \mu_1(x_1)\mu_1(x_2) = 0$, $\mu_{R2}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_1(x_2) = 0$, $\mu_{R3}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_1(x_2) = 0$, $\mu_{R4}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_2(x_2) = 1.0$.

Визначити значення на виході моделі для вектора $X(R4) = [2 \ 2]^T$.

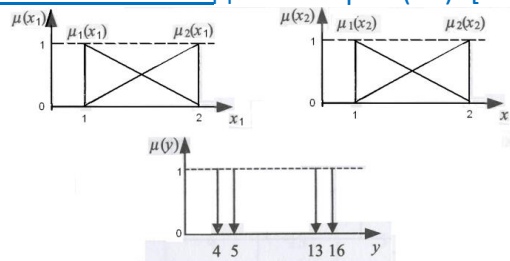


Рис. 3. Кусково-лінійні ФН входів, що задовольняють умові розбиття одиниці, і одноточкові ФН вихідного параметра системи, яку розглядають, з двома входами

4. Вихід нечіткої моделі (нечіткі моделі). У табл. 1 зображена інформація взаємозв'язку входів і виходу для системи з двома входами x_1 і x_2 . Оскільки проєкції точок R_i збігаються з вузлами регулярної прямокутної сітки в просторі $X_1 \times X_2$ входів об'єкта (рис. 3), то можна безпосередньо використовувати ці точки для побудови бази правил (3) і ФН входів і виходу.

Таблиця 1

Інформація про відображення вхід-вихід, яке реалізує змодельована система

R_i	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
x_1	1	1	1	3	3	3	5	5	5
x_2	2	4	6	2	4	6	2	4	6
y	-3	1	-3	1	5	1	-3	1	-3

База правил:

- (3)
R1: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \mid (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx -3)$ R5: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \mid (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 5)$
R2: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \mid (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 1)$ R6: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \mid (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx 1)$
R3: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \mid (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx -3)$ R7: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \mid (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx -3)$
R4: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \mid (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 1)$ R8: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \mid (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 1)$
R9: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \mid (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx -3)$

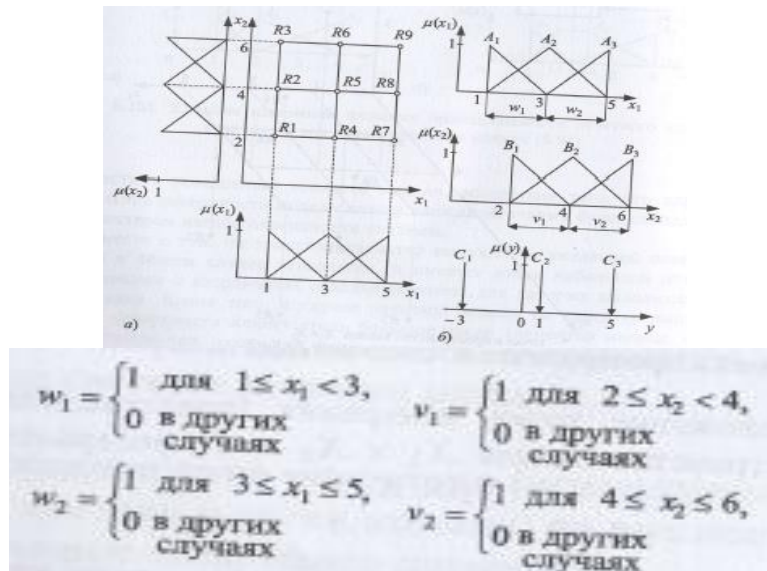


Рис. 3. Прямокутна сітка в просторі входів системи (а), використувані ФН входів і виходу (б), визначення логічних змінних-індикаторів w_i, v_j

Для визначення ФН входів можна використовувати логічні змінні w_i, v_j – індикатори сегментів:

$$\mu_{A_1}(x_1) = 0.5(3 - x_1)w_1, \mu_{A_2}(x_1) = 0.5(x_1 - 1)w_1 + 0.5(5 - x_1)w_2, \mu_{A_3}(x_1) = 0.5(x_1 - 3)w_2,$$

$$\mu_{B_1}(x_2) = 0.5(4 - x_2)v_1, \mu_{B_2}(x_2) = 0.5(x_2 - 2)v_1 + 0.5(6 - x_2)v_2, \mu_{B_3}(x_2) = 0.5(x_2 - 4)v_2$$

Ці змінні визначені на рис. 3.б. Визначити **вихід нечіткої моделі** у вигляді виразу значення $y^*(x_1, x_2)$ при використанні для виконання операції перетину множин («I») у правилах (4) оператора **MIN**.

5. Вихід нечіткої моделі. У табл. 3 зображена інформація взаємозв'язку входів і виходу для системи з двома входами x_1 і x_2 . Оскільки проєкції точок R_i збігаються з вузлами регулярної прямокутної сітки в просторі $X_1 \times X_2$ входів об'єкта (рис. 3), то можна безпосередньо використовувати ці точки для побудови бази правил (3) і ФН входів і виходу. Для визначення ФН входів можна використовувати логічні змінні w_i, v_j – індикатори сегментів (ці змінні визначені на рис. 4.б):

$$\mu_{A_1}(x_1) = 0.5(3 - x_1)w_1, \mu_{A_2}(x_1) = 0.5(x_1 - 1)w_1 + 0.5(5 - x_1)w_2, \mu_{A_3}(x_1) = 0.5(x_1 - 3)w_2,$$

$$\mu_{B_1}(x_2) = 0.5(4 - x_2)v_1, \mu_{B_2}(x_2) = 0.5(x_2 - 2)v_1 + 0.5(6 - x_2)v_2, \mu_{B_3}(x_2) = 0.5(x_2 - 4)v_2.$$

Визначити **вихід нечіткої моделі** у вигляді виразу значення $y^*(x_1, x_2)$ при використанні для виконання операції перетину множин («I») у правилах (3) оператора **PROD** (алгебраїчного добутку).

Таблиця 3

Інформація про відображення вхід-вихід, яке реалізує змодельована система

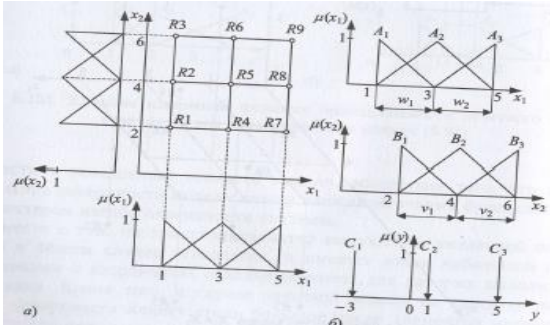
R_i	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
x_1	1	1	1	3	3	3	5	5	5
x_2	2	4	6	2	4	6	2	4	6
y	-3	1	-3	1	5	1	-3	1	-3

База правил:

- R1: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \text{ I } (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx -3)$
- R2: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \text{ I } (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 1)$
- R3: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \text{ I } (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx -3)$
- R4: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \text{ I } (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 1)$

(3)

- R5: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \text{ I } (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 5)$
- R6: ЯКЩО $(x_1 \approx 3) \text{ I } (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx 1)$
- R7: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \text{ I } (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx -3)$
- R8: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \text{ I } (x_2 \approx 4)$ ТО $(y \approx 1)$
- R9: ЯКЩО $(x_1 \approx 5) \text{ I } (x_2 \approx 6)$ ТО $(y \approx -3)$



$$w_1 = \begin{cases} 1 & \text{для } 1 \leq x_1 < 3, \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases} \quad v_1 = \begin{cases} 1 & \text{для } 2 \leq x_2 < 4, \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases}$$

$$w_2 = \begin{cases} 1 & \text{для } 3 \leq x_1 \leq 5, \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases} \quad v_2 = \begin{cases} 1 & \text{для } 4 \leq x_2 \leq 6, \\ 0 & \text{в других случаях} \end{cases}$$

A_1 = приблизно 1, A_2 = приблизно 3, A_3 = приблизно 5, B_1 = приблизно 2, B_2 = приблизно 4, B_3 = приблизно 6, C_1 = приблизно 3, C_2 = приблизно 1, C_3 = приблизно 5

Рис. 3. Прямокутна сітка в просторі входів системи (а), використовувані ФН входів і виходу (б), визначення логічних змінних-індикаторів w_i, v_j 4.

6. Вихід нечіткої моделі. Розглянемо нечітку модель об'єкта з двома входами, база правил якої має вигляд:

- R1: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \text{ I } (x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 4)$
- R2: ЯКЩО $(x_1 \approx 1) \text{ I } (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 13)$
- R3: ЯКЩО $(x_1 \approx 2) \text{ I } (x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 5)$
- R4: ЯКЩО $(x_1 \approx 2) \text{ I } (x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 16)$.

А функції належності зображені на рис. 3.

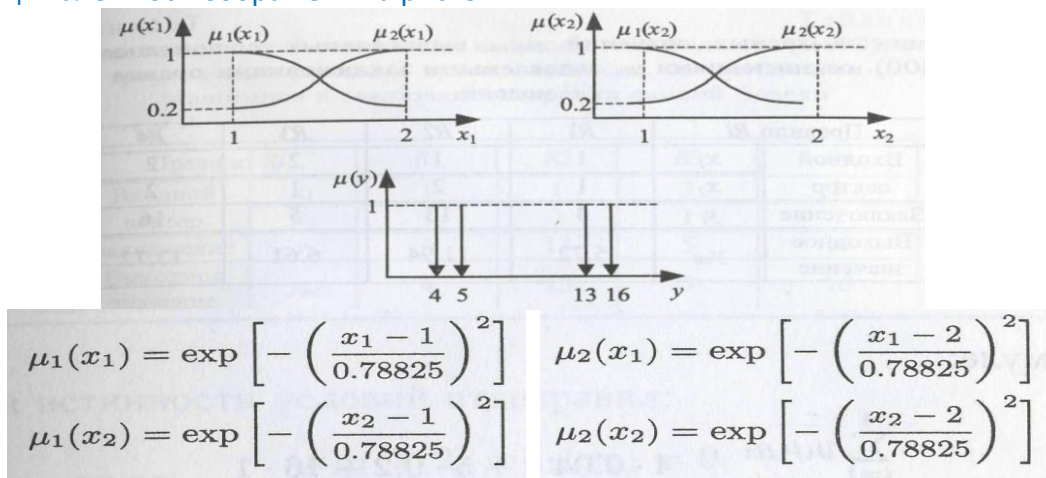


Рис. 3. Функції належності нечітких множин Гаусса, які задають значення входів і виходу для розглянутої системи з двома входами

У процесі обчислення значення y на виході моделі для векторів вхідних значень, що містяться в умовах правил: $X(R1)=[1 \ 1]^T$, $X(R2)=[1 \ 2]^T$, $X(R3)=[2 \ 1]^T$, $X(R4)=[2 \ 2]^T$, відбувається одночасна активізація всіх правил, а не тільки правила, в посилці якого міститься заданий вектор $X(Ri)$. Оскільки в обчисленні вихідного значення завжди беруть участь всі правила, воно відрізнятиметься від значення y_i , яке задається висновком правила Ri . Наприклад, при обчисленні значення на виході моделі для вектора $X(R4)=[2, 2]^T$ (з використанням оператора **PROD** в якості основи для виконання операції «I») ступінь виконання умов окремих правил буде такою:

$$\mu_{R1}(2, 2) = \mu_1(x_1)\mu_1(x_2) = 0.04, \mu_{R2}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_1(x_2) = 0.2,$$

$$\mu_{R3}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_1(x_2) = 0.2, \mu_{R4}(2, 2) = \mu_2(x_1)\mu_2(x_2) = 1.0.$$

Отримані ступені істинності умов μ_{Ri} призводять до активізації висновків всіх правил.

Визначити значення на виході моделі для вектора $X(R4)=[2 \ 2]^T$.

7. Вихід нечіткої моделі. Розглянемо нечітку модель об'єкта з двома входами, база правил якої має вигляд:

R1: ЯКЩО $(x_1 \approx 1)$ І $(x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 4)$

R3: ЯКЩО $(x_1 \approx 2)$ І $(x_2 \approx 1)$ ТО $(y \approx 5)$

R2: ЯКЩО $(x_1 \approx 1)$ І $(x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 13)$

R4: ЯКЩО $(x_1 \approx 2)$ І $(x_2 \approx 2)$ ТО $(y \approx 16)$,

У розглянутій моделі ФН задовольняють умову розбиття одиниці (рис. 1). Для виконання операції «І» в умовах правил будемо використовувати оператор **PROD**. При обчисленні значення y_{m4} на виході моделі для вхідного вектора $X(R4)=[2, 2]^T$ будуть отримані такі ступені істинності умов окремих правил:

$$\mu_{R1}(2, 2) = \mu_1(x_1) \cdot \mu_1(x_2) = 0, \mu_{R2}(2, 2) = \mu_2(x_1) \cdot \mu_1(x_2) = 0,$$

$$\mu_{R3}(2, 2) = \mu_2(x_1) \cdot \mu_1(x_2) = 0, \mu_{R4}(2, 2) = \mu_2(x_1) \cdot \mu_2(x_2) = 1.0.$$

Визначити значення на виході моделі для вектора $X(R4)=[2 \ 2]^T$.

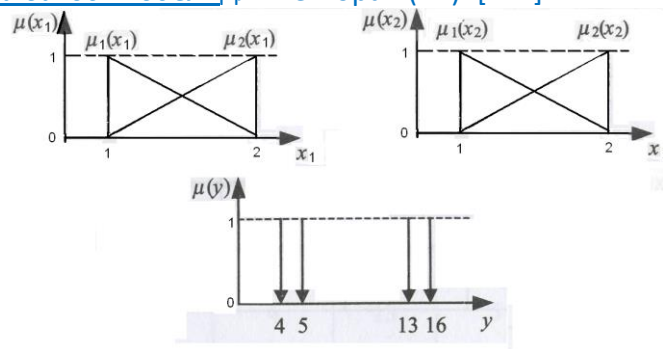


Рис. 3. Кусково-лінійні ФН входів, що задовольняють умові розбиття одиниці, і одноточкові ФН вихідного параметра системи, яку розглядають, з двома входами

8. Вихід нечіткої моделі. Задано систему управління нечіткої логіки з двома правилами нечіткого управління вигляду:

Правило R1: IF $x_1=A1$ AND $x_2=B1$ THEN $y=C1$; Правило R2: IF $x_1=A2$ AND $x_2=B2$ THEN $y=C2$

Нехай величини x_{10}, x_{20} , які зчитуються сенсорами, є чіткі входи для лінгвістичних змінних x_1 і x_2 . Задано функції належності для нечітких підмножин $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ вигляду:

$$\mu_{A1}(x_1) = \begin{cases} (x_1 - 2)/3, & 2 \leq x_1 \leq 5; \\ (8 - x_1)/3, & 5 \leq x_1 \leq 8; \end{cases} \quad \mu_{A2}(x_1) = \begin{cases} (x_1 - 3)/3, & 3 \leq x_1 \leq 6; \\ (9 - x_1)/3, & 6 \leq x_1 \leq 9; \end{cases}$$

$$\mu_{B1}(x_2) = \begin{cases} (x_2 - 5)/3, & 5 \leq x_2 \leq 8; \\ (11 - x_2)/3, & 8 \leq x_2 \leq 11; \end{cases} \quad \mu_{B2}(x_2) = \begin{cases} (x_2 - 4)/3, & 4 \leq x_2 \leq 7; \\ (10 - x_2)/3, & 7 \leq x_2 \leq 10; \end{cases}$$

$$\mu_{C1}(x_2) = \begin{cases} (x_2 - 2)/3, & 2 \leq x_2 \leq 5; \\ (8 - x_2)/3, & 5 \leq x_2 \leq 8; \end{cases} \quad \mu_{C2}(x_2) = \begin{cases} (x_2 - 3)/3, & 3 \leq x_2 \leq 6; \\ (9 - x_2)/3, & 6 \leq x_2 \leq 9. \end{cases}$$

У момент часу t_1 значення датчиків набули вигляду: $x_{10}(t_1) = 4$; $x_{20}(t_1) = 8$. Проілюструвати, як при цьому обраховуватиметься значення вихідного сигналу.