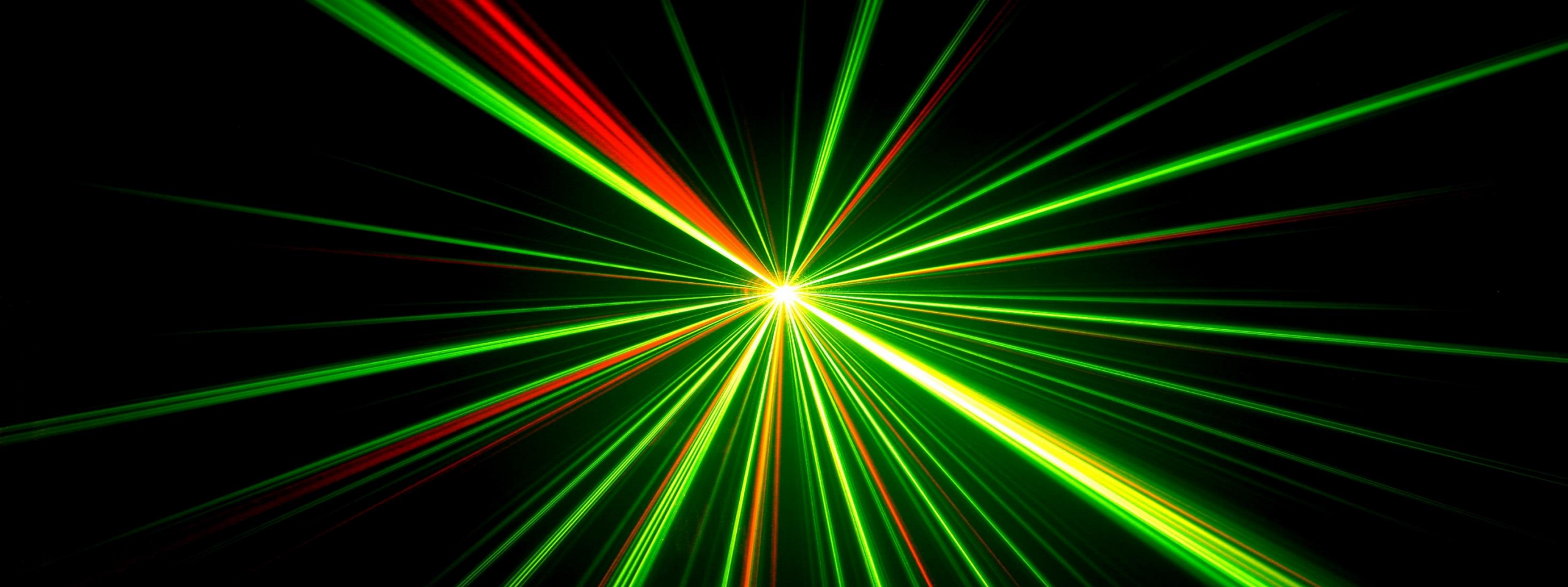




Нечітка логіка
FUZZY LOGIC

проф. Куклін Володимир Михайлович
prof. KUKLIN Volodymyr Mikhailovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor. 1972-1988 Researcher at the Faculty of Physics and Technology; 1987 - doctoral (DC) degree in theoretical studies; 1988 - 2005 Professor of the Faculty of Physics and Technology; 1995-1996 - Professor, Project Management Department, Moscow Institute of building Engineering, 1997-2008 - Professor of Economics and Law KPI; since 2005 – the head of the department of artificial intelligence

Доктор фізико-математичних наук; професор. 1972-1988 науковий співробітник фізико-технічного факультету; 1987- захист докторського ступеня; 1988 - 2005 професор фізико-технічного факультету; 1995-1996 - професор кафедри управління проектами МІБІ; 1997-2008 - професор економіко-правового факультету ХПІ; з 2005- завідувач кафедри штучного інтелекту факультету комп'ютерних наук.

<http://orcid.org/0000-0002-0310-1582>

Публікації також див. на сайті

Electronic Kharkiv National University Institutional **Repository**

(<http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/>);

Лекції на сайтах

«**Відеолекції** Харківського університету імені В. Н. Каразіна»

«Общезначительный семинар **Фізтех** Youtube »

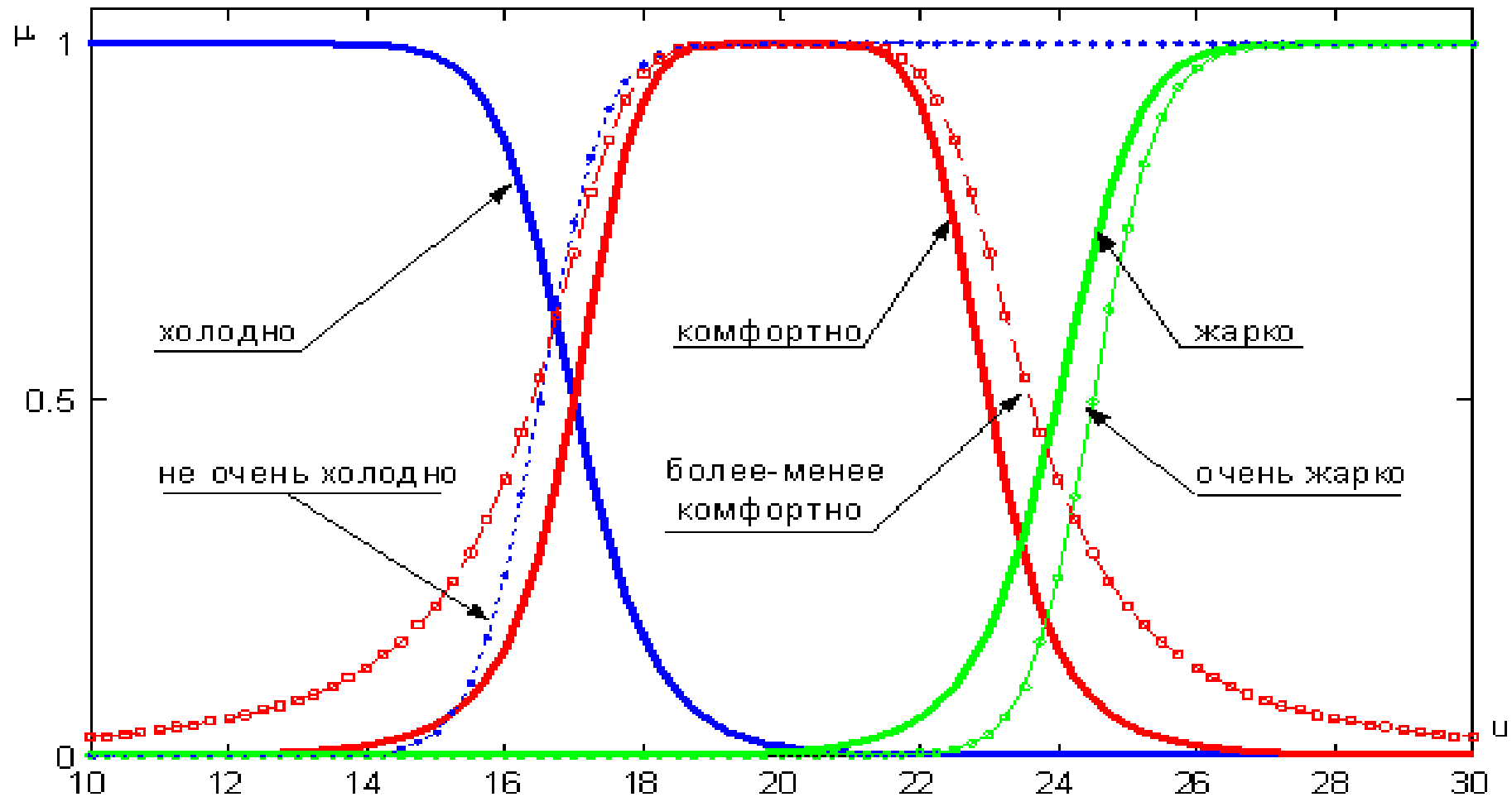


НЕЧІТКА ЛОГІКА

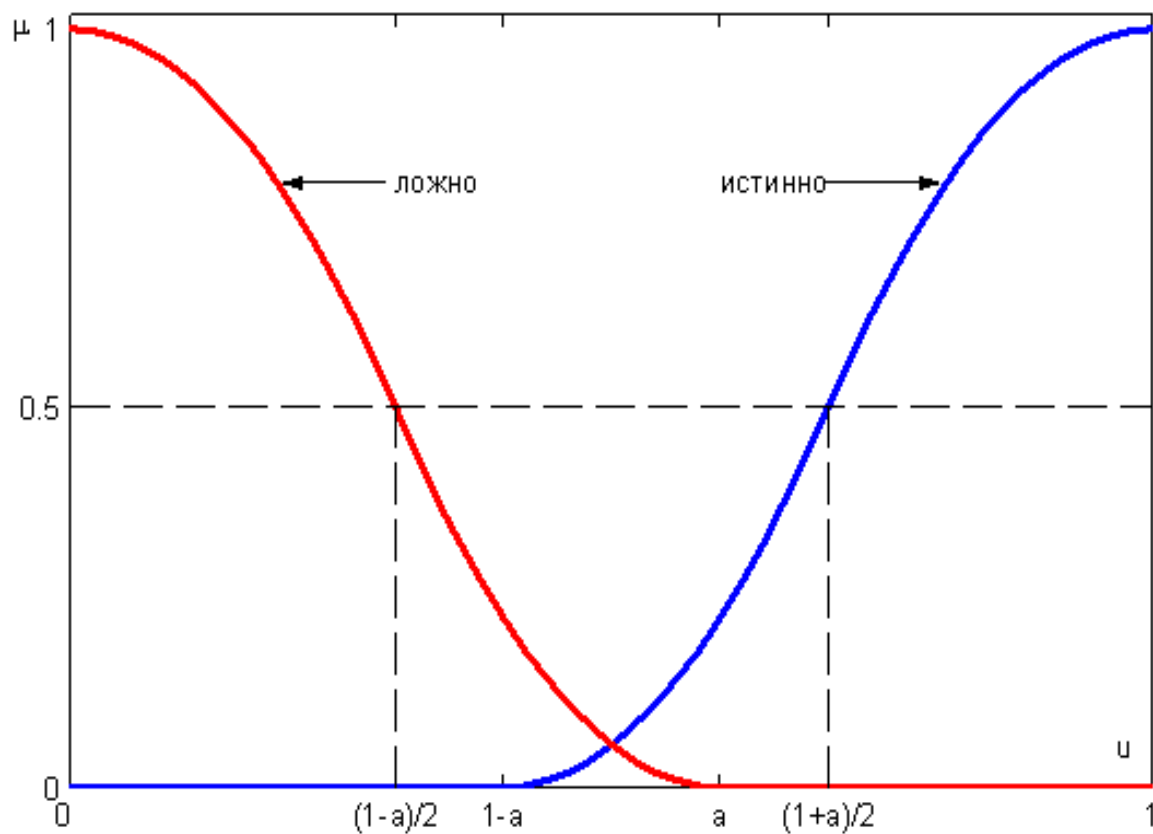
FUZZY LOGIC

(ДЕТАЛІ DETAILS)

З КНИГИ (FROM BOOK) [HTTP://MATLAB.EXPONENTA.RU/FUZZYLOGIC/BOOK1/INDEX](http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index).



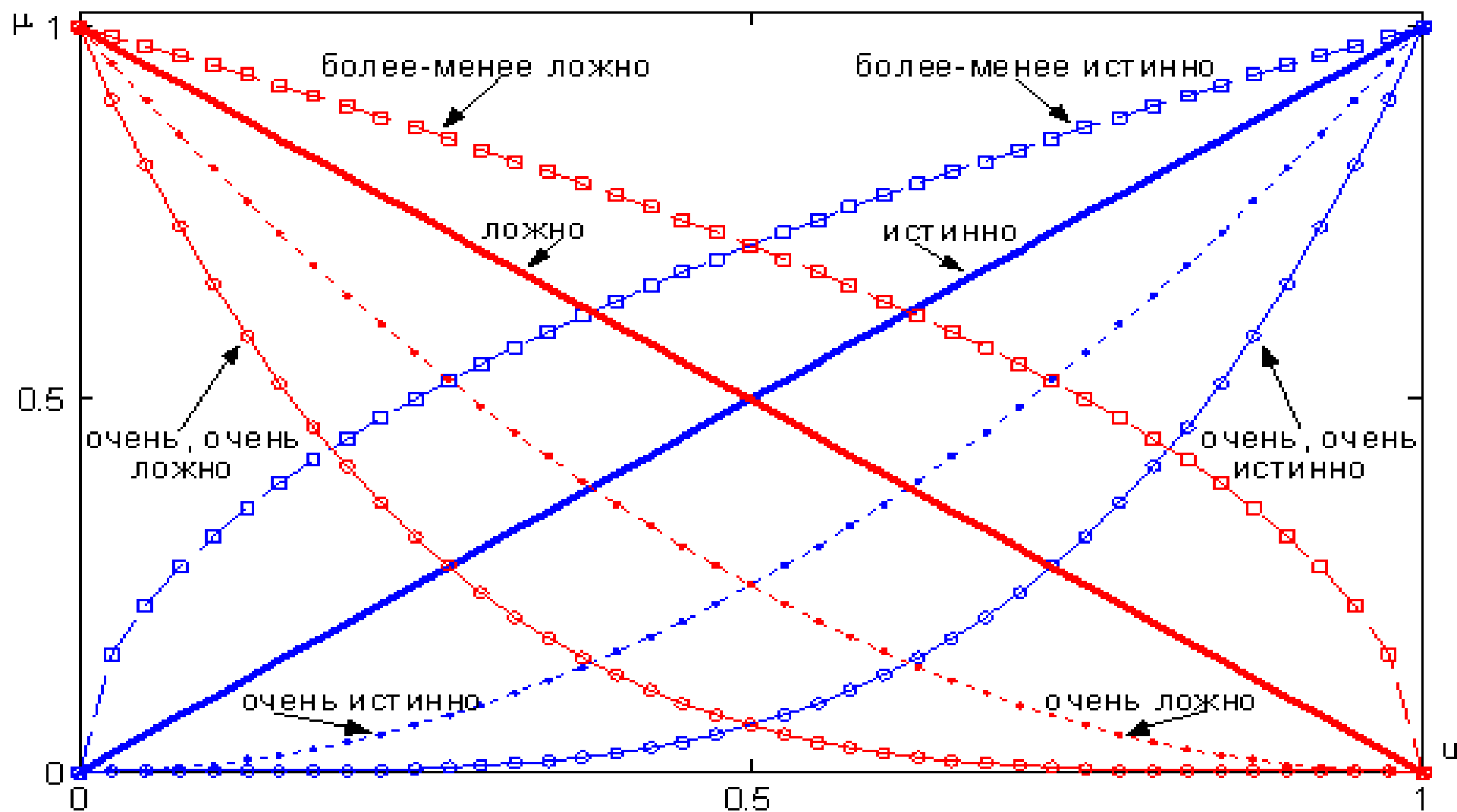
ИСТИННОСТЬ (THE TRUTH) ЗАДЕ



$$\mu_{\text{«истинно»}}(u) = \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq a \\ 2 \cdot \left(\frac{u-a}{1-a} \right)^2, & a < u \leq \frac{a+1}{2} \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{u-1}{1-a} \right)^2, & \frac{a+1}{2} < u \leq 1 \end{cases}$$

ИСТИННОСТЬ (THE TRUTH)

БАЛДВИН



ТРИЗНАЧНА ЛОГІКА З НЕЧІТКИМИ ЗНАЧЕННЯМИ ІСТИННОСТІ ЗАДЕ

T - "ІСТИННО", F - "ПОМИЛКОВО" І T + F - "НЕВІДОМО"

THREE-VALUED LOGIC WITH FUZZY TRUTH VALUES ZADE
T - "TRUE", F - "FALSE" AND T + F - "UNKNOWN"

$\tilde{A}$	$\tilde{B}$	$\bar{A}$	$\tilde{A} \wedge \tilde{B}$	$\tilde{A} \vee \tilde{B}$
T	T	F	T	T
T	F	F	F	T
T	T+F	F	T+F	T
F	T	T	F	T
F	F	T	F	F
F	T+F	T	F	T+F
T+F	T	T+F	T+F	T
T+F	F	T+F	F	T+F
T+F	T+F	T+F	T+F	T+F

НЕЧІТКІ ЗНАЧЕННЯ ІСТИННОСТІ

FUZZY TRUTH VALUES

(БАЛДВИН)

$\tilde{A}$	$\tilde{B}$	$\tilde{A} \wedge \tilde{B}$	$\tilde{A} \vee \tilde{B}$
ЛОЖНО	ЛОЖНО	ЛОЖНО	ЛОЖНО
ИСТИННО	ЛОЖНО	ЛОЖНО	ИСТИННО
ИСТИННО	ИСТИННО	ИСТИННО	ИСТИННО
неопределенно	ЛОЖНО	ЛОЖНО	неопределенно
неопределенно	ИСТИННО	неопределенно	ИСТИННО
неопределенно	неопределенно	неопределенно	неопределенно
ИСТИННО	очень истинно	ИСТИННО	очень истинно
ИСТИННО	более-менее истинно	более-менее истинно	ИСТИННО

НЕЧІТКА БАЗА ЗНАНЬ

FUZZY KNOWLEDGE BASE

(МАМДАНІ)

Нечіткою базою знань називається сукупність нечітких правил "Якщо - то", що визначають взаємозв'язок між входами і виходами.

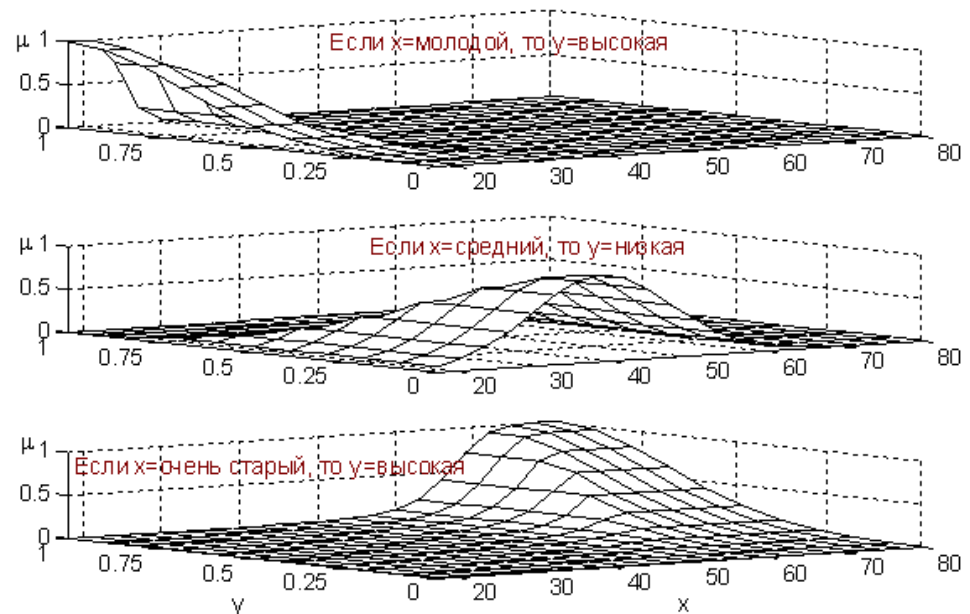
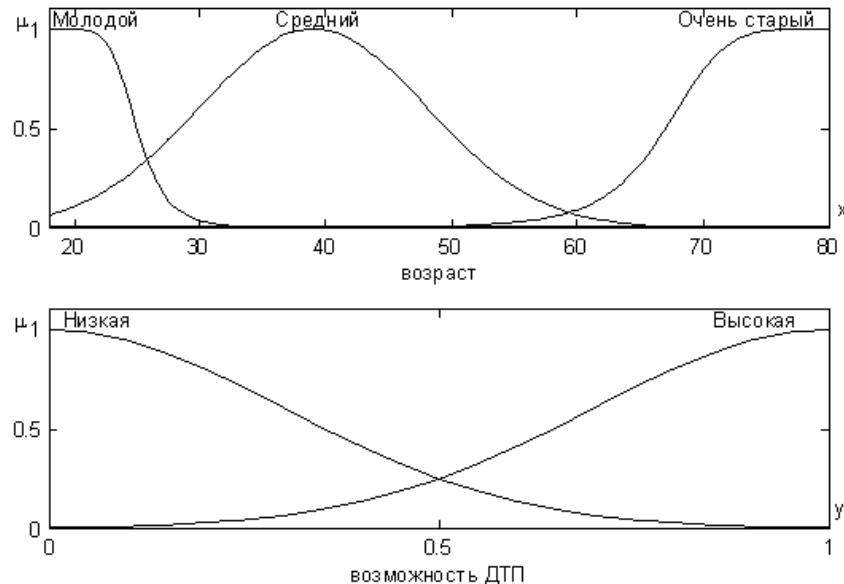
Наприклад:

Вік і ймовірність ДТП

Якщо x = Молодий, то y = Висока;

Якщо x = Середній, то y = Низька;

Якщо x = Дуже старий, то y = Висока.



БАЗА ЗНАНЬ KNOWLEDGE BASE

МАМДАНІ

$\{x_1 = a_{1,j1}\}$ И $\{x_2 = a_{2,j1}\}$ И ... И $\{x_n = a_{n,j1}\}$ ИЛИ

$\{x_1 = a_{1,j2}\}$ И $\{x_2 = a_{2,j2}\}$ И ... И $\{x_n = a_{n,j2}\}$ ИЛИ

$\{x_1 = a_{1,jk_j}\}$ И $\{x_2 = a_{2,jk_j}\}$ И ... И $\{x_n = a_{n,jk_j}\}$ ТО

$y = d_j \quad j = \overline{1, m}$

таблица $\{a_{i,jp}, d_j\}$ - база знань

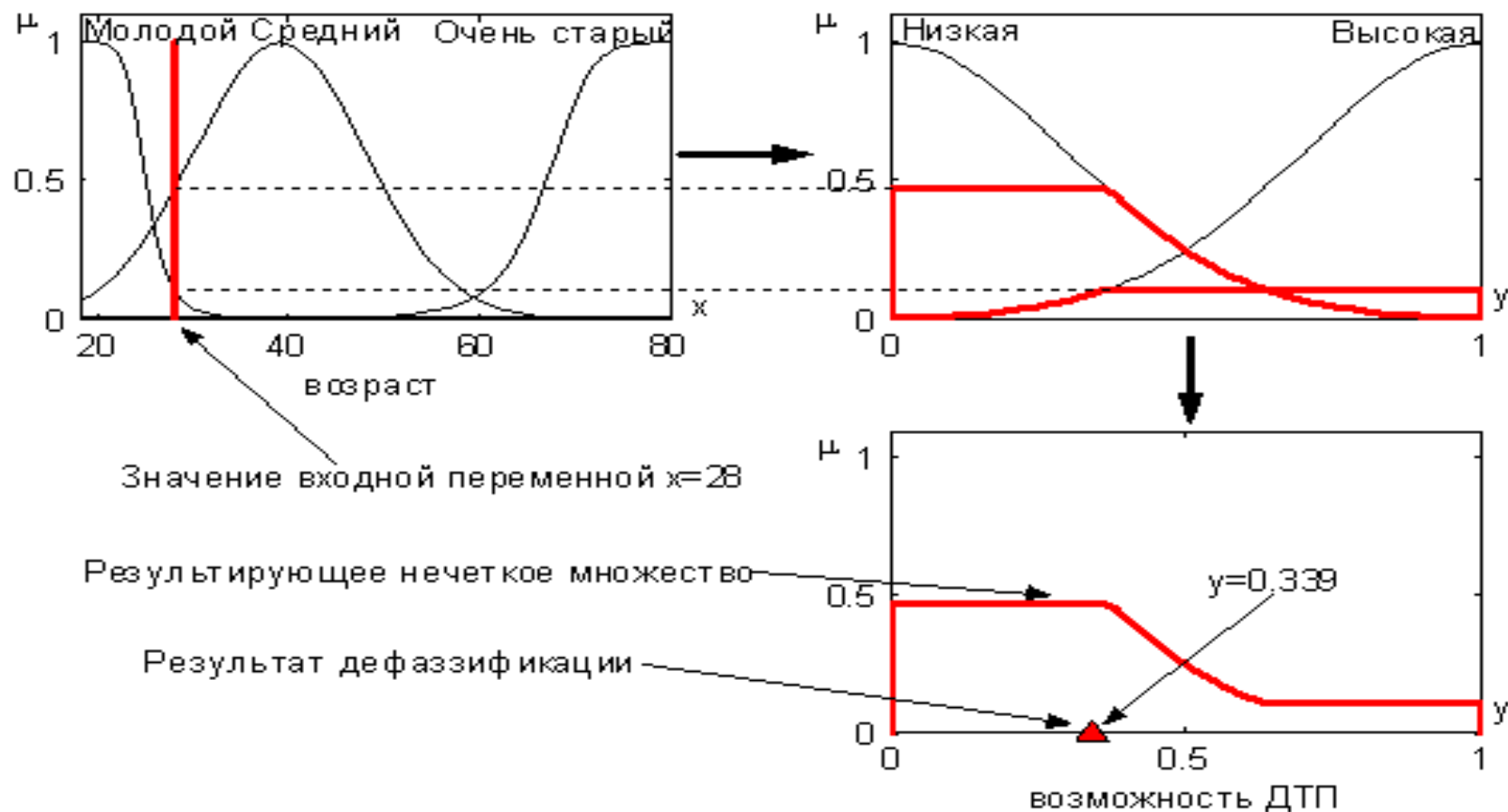
$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j,$$

НЕЧІТКИЙ ЛОГІЧНИЙ ВИСНОВОК

FUZZY SOLUTION

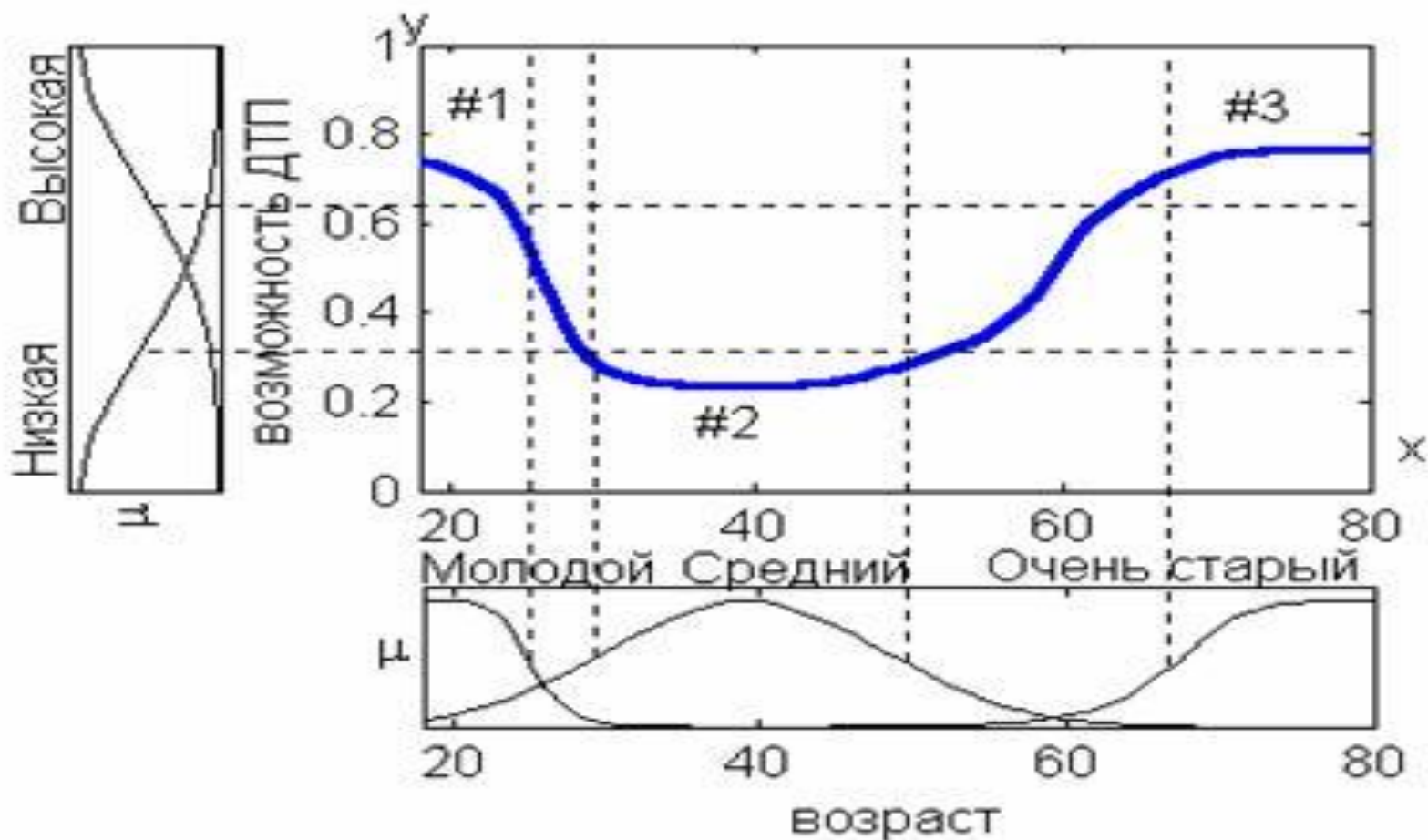
ПРИ ЗНАЧЕННЯХ ВХІДНОЇ ЗМІННОЇ $x = 28$ РОКІВ ОПЕРАЦІЯ АГРЕГУВАННЯ ЗДІЙСНЮВАЛАСЯ
ЗНАХОДЖЕННЯМ МАКСИМУМУ. ДЕФАЗИФІКАЦІЯ ПРОВОДИЛАСЯ ЗА МЕТОДОМ ЦЕНТРА ВАГИ

THE AGGREGATION OPERATION WAS PERFORMED TO FIND THE MAXIMUM. DEFAZIFICATION WAS
PERFORMED BY THE CENTER OF GRAVITY METHOD



НЕЧІТКИЙ ЛОГИЧНИЙ ВИСНОВОК МАМДАНІ

ПРИ НЕЧІТКОМУ ЗНАЧЕННІ ВХІДНОЇ ЗМІННОЇ



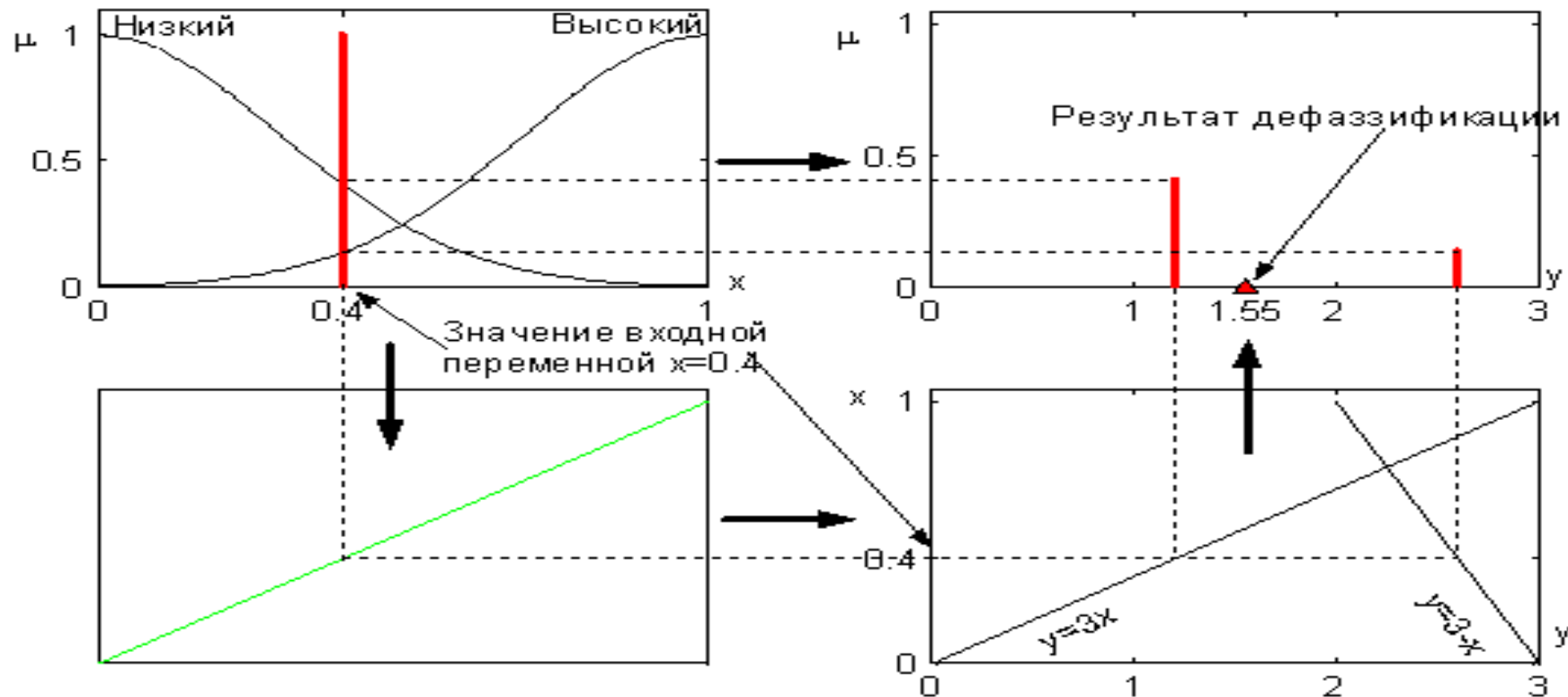
НЕЧІТКИЙ ЛОГІЧНИЙ ВИСНОВОК СУГЕНО

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right) \rightarrow y = b_{j,0} + b_{j,1} \cdot x_1 + b_{j,2} \cdot x_2 + \dots + b_{j,n} \cdot x_n.$$

Если x низкий, то $y=3x$;

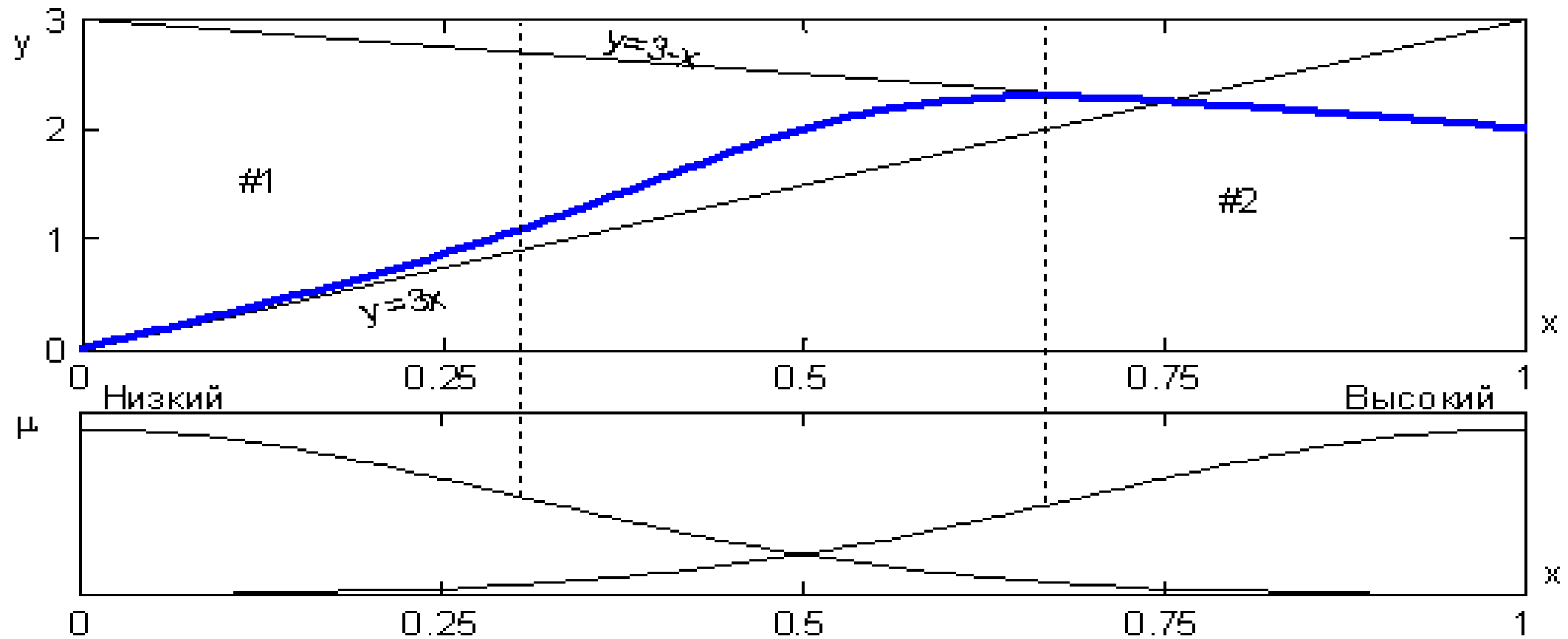
Если x высокий, то $y=3-x$

Дефаззификация по методу центра тяжести (взвешенного среднего).

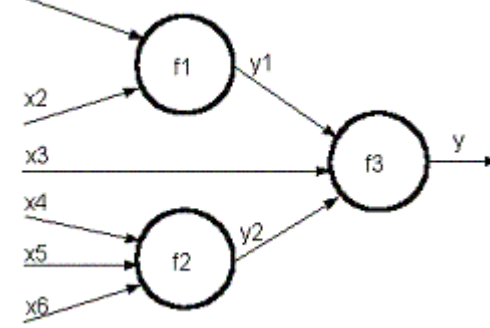


БАЗА ДАНИХ (СУГЕНО)

ЯКЩО X НИЗЬКИЙ, ТО $Y=3X$; ЯКЩО X ВИСОКИЙ, ТО $Y=3-X$



ІЄРАРХІЧНІ СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ



Подолання "прокляття розмірності": в оперативній пам'яті людини може одночасно зберігатися не більше 7 ± 2 понять-ознак.

Miller G.A. The Magic Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information // Psychological Review. 1956. No. 63. - P. 81 97.

У цих системах вихідна змінна однієї бази знань є вхідний для іншої бази знань.
Кількість вхідних змінних в одній базі знань не повинно перевищувати це
магічне число.

См. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. - Винница: УНИВЕРСУМ - Винница, 1999. - 320 с. Медицинская диагностика на нечеткой логике . Винница: Континент-ПРИМ, 1996. 132 с. Нечеткая модель футбольного прогнозирования с генетико-нейронной настройкой // Вестник Винницкого политехнического института. - 2003. №2. С. 68 -78.

НЕЧІТКИЙ ЛОГІЧНИЙ ВИСНОВОК ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАСИФІКАЦІЇ

Якщо $x_1 = \text{низький}$ і $x_2 = \text{низький}$, то $y = \text{клас 1}$;

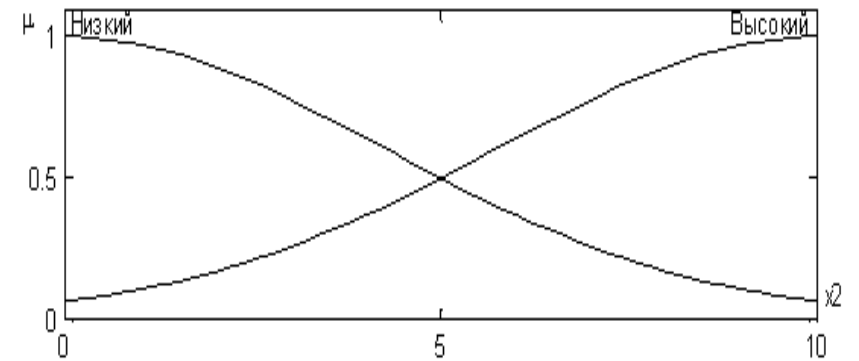
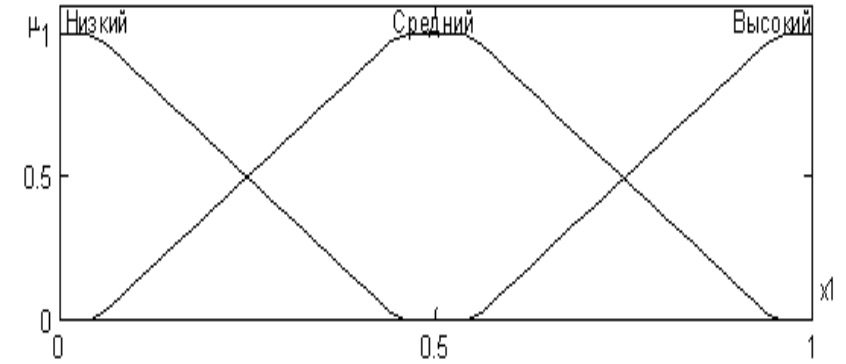
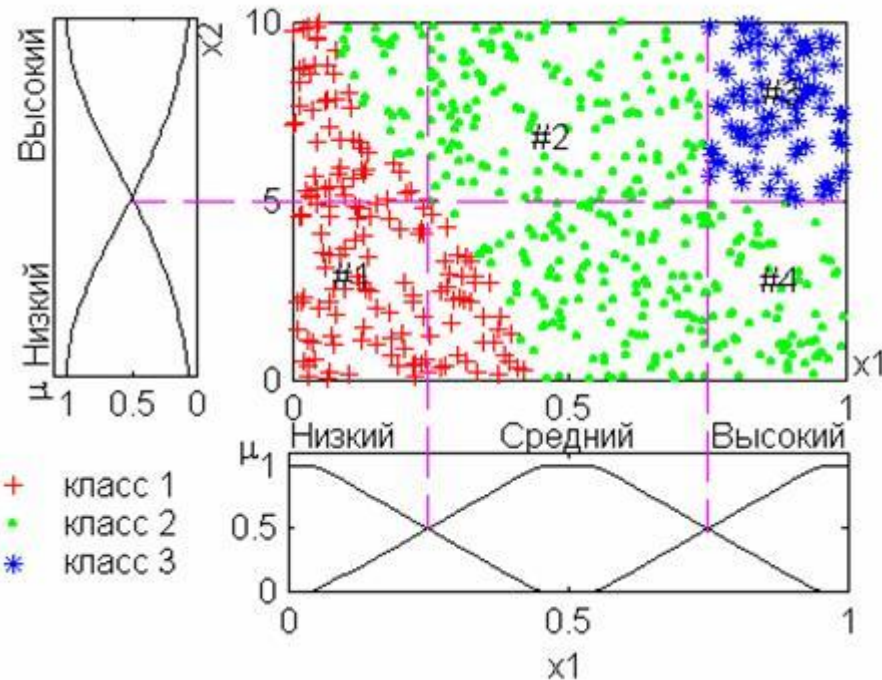
Якщо $x_1 = \text{середній}$ і $x_2 = \text{високий}$, то $y = \text{клас 2}$;

Якщо $x_1 = \text{високий}$ і $x_2 = \text{високий}$, то $y = \text{клас 3}$;

Якщо $x_1 = \text{високий}$ і $x_2 = \text{низький}$, то $y = \text{клас 2}$;

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left(\bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \text{ с весом } w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j$$

$$j = \overline{1, m}$$



Класифікації 600 об'єктів для наведеної бази знань. Виконання t-норми операцією мінімуму і s-норми операцією максимуму. Області, що відповідають першому, другому, третьому і четвертому правилам бази знань позначені на малюнку символами # 1, # 2, # 3.

НЕЧІТКІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ

Важливо також звернути увагу на **непереборну неоднозначність відповіді в формі результуючої характеристичної функції**, отриманої в процесі застосування нечіткої логіки. Тобто, взагалі кажучи, з позицій чіткої логіки, **відсутня однозначність виводу**. Бо **перехід до чіткості строго не визначений** і вибір конкретного значення характеристичної функції при переході до чіткості є більше мистецтвом, ніж методикою. Як і в нейронних мережах, які замкнуті на великі аудиторії користувачів і агентів (великі мережі, що створені останнім часом), так і в природному інтелекті, більшість завдань вирішується методами, подібними методами нечіткої логіки, що не забезпечує однозначність відповідей. **Вибір відповіді часто здійснюється на нестрогих міркуваннях** (або перевагах), на оптимальному (нехай навіть і нестрогому) узгодженні обраного рішення з великим набором інших раніше отриманих в тій чи іншій мірі подібних рішень, що знаходяться в глобальній базі даних (пам'яті).

НАЙПРОСТІША НЕЧІТКА НЕЙРОННА МЕРЕЖА

THE SIMPLEST FUZZY NEURAL NETWORK

П1: якщо $x \in A_1$, то $y = z_1$ і П2: якщо $x \in A_2$, то $y = z_2$.

Введення нечіткості: нечіткі поняття тут представлені сигмоїдними функціями належності
сума яких в даному випадку дорівнює одиниці

$$A_1(x) = \{1 + \exp[-b(x - a)]\}^{-1}$$

$$A_2(x) = \{1 + \exp[b(x - a)]\}^{-1}$$

ступені істинності правил визначаються $\alpha_1 = A_1$ $\alpha_2 = A_2$

Перехід до чіткості: результат на виході визначається зваженим середнім
$$o = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

В процесі **навчання** підлаштовувати параметри виходячи з виду **функції помилки E**

$$a := a - \eta \cdot \partial E(a, b) / \partial a$$

$$b := b - \eta \cdot \partial E(a, b) / \partial b$$

НОРМА І КОНОРМА

Норма і конорма. Визначимо такі операції $\min(\mu_A, \mu_B)$; $\mu_A \cdot \mu_B$; $\max(0, \mu_A + \mu_B - 1)$; . Вони належать до так званої трикутної норми (t-норма), якщо всі $\mu_A(x)$ – знаходяться в інтервалі $x \in [0, 1]$.

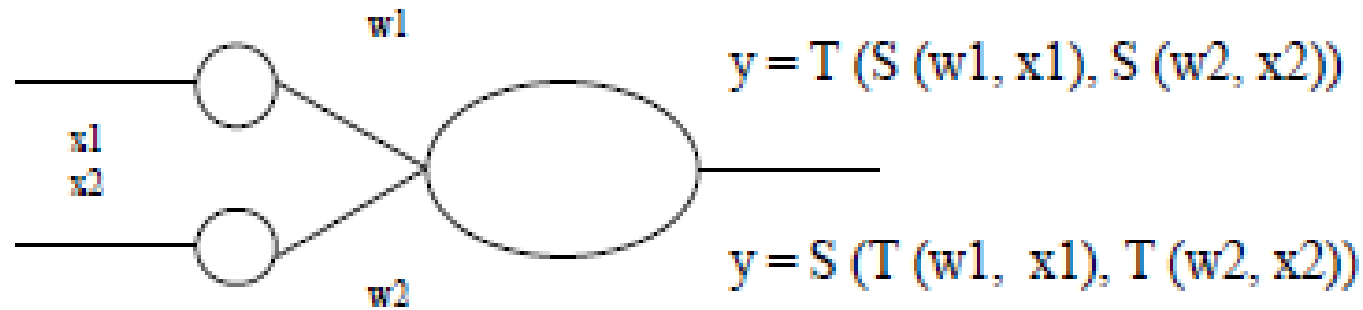
$$T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A);$$

Для операцій $\max(\mu_A, \mu_B)$; $\mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B$; $\min(1, \mu_A + \mu_B)$; корисно ввести поняття трикутної конорми (t-конорма).

$$S(\mu_A, \mu_B) = S(\mu_B, \mu_A);$$

НЕЧІТКИЙ НЕЙРОН «І»

Нечіткі нейрони. Нехай x – вхідні сигнали, а w – синаптичні ваги нейрону.



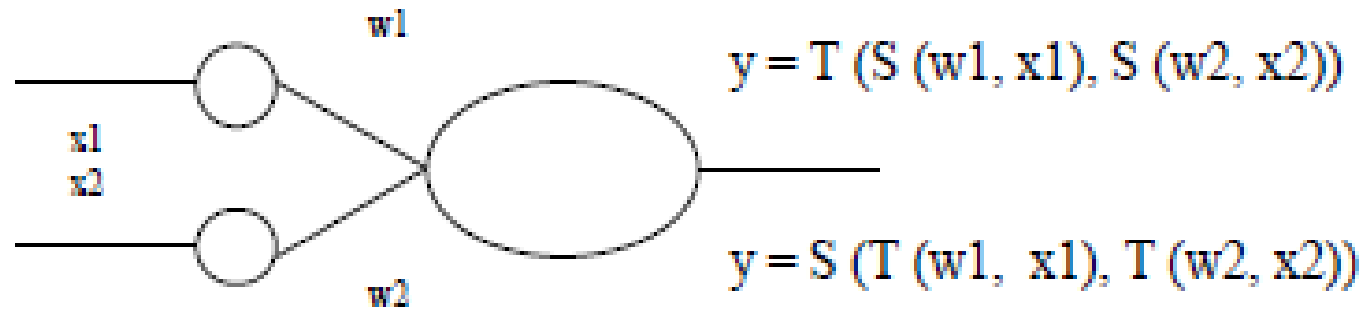
Визначимо нейрон «І» як

$$y = T(p_1, p_2) = T(S(w_1, x_1), S(w_2, x_2)), \\ p_1 = S(w_1, x_1).$$

Це подібно до того як владна структура вибирає свою мінімальну реакцію на вимоги активних людей з натовпу.

НЕЧІТКИЙ НЕЙРОН «АБО»

Нечіткі нейрони. Нехай x – вхідні сигнали, а w – синаптичні ваги нейрону.



Визначимо нейрон «АБО» як
$$y = S(p_1, p_2) = S(T(w_1, x_1), T(w_2, x_2)),$$
$$p_1 = T(w_1, x_1).$$

Тут це схоже на те як влада вибирає найбільш ефективне рішення з усіх пропозицій, які не порушують деякі обмеження, наприклад, відкидають надмірно радикальні і неприйнятні пропозиції.

ADAPTIVE-NETWORK-BASED FUZZY INFERENCE SYSTEM

АДАПТИВНА МЕРЕЖА НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ

JANG J.-S. R. ANFIS: ADAPTIVE-NETWORK-BASED FUZZY INFERENCE SYSTEM // IEEE TRANS. SYSTEMS & CYBERNETICS. - 1993. - VOL. 23. - P. 665 - 685.

NAUCK D., Klawonn F., Kruse R. FOUNDATIONS OF NEURO-FUZZY SYSTEMS. JOHN WILEY & SONS.- 1997.- 305P.

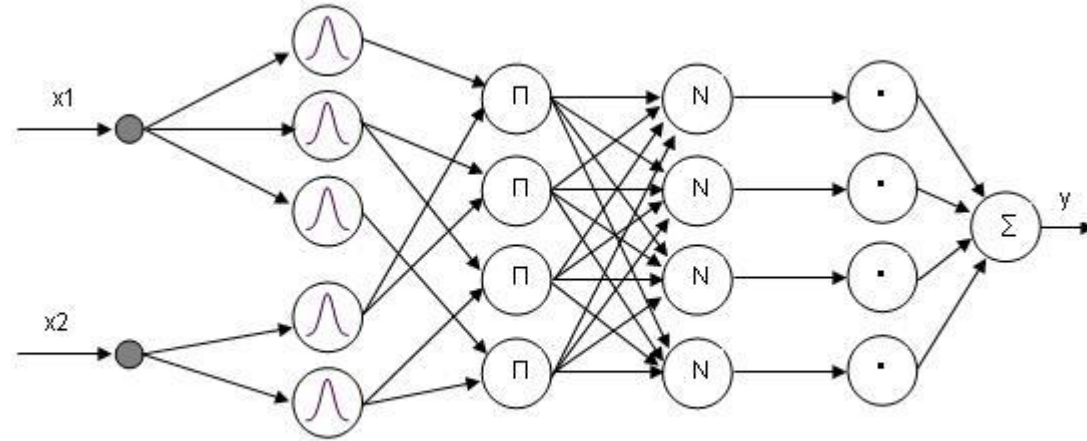


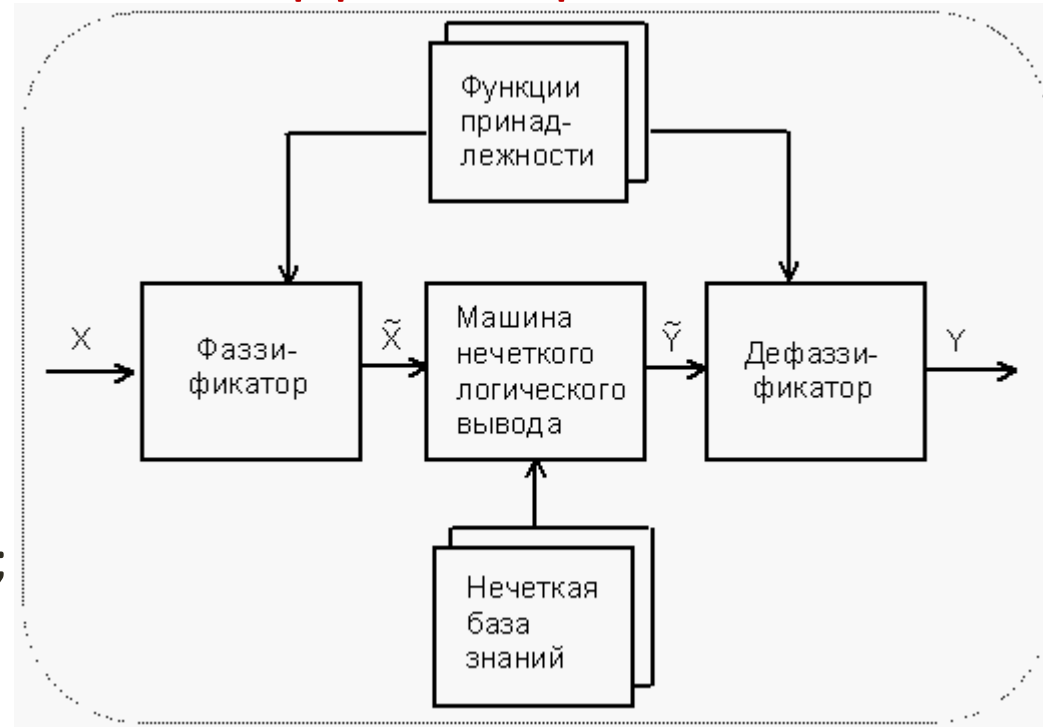
Рисунок 1 – Пример ANFIS-сети

Типовые процедуры обучения нейронных сетей могут быть применены для настройки ANFIS-сети. Обычно применяется комбинация **градиентного спуска в виде алгоритма обратного распространения ошибки и метода наименьших квадратов**. Алгоритм обратного распространения ошибки настраивает параметры антецедентов правил, т.е. функций принадлежности. Методом наименьших квадратов оцениваются коэффициенты заключений правил, так как они линейно связаны с выходом сети. Каждая итерация процедуры настройки выполняется в два этапа. На **первом этапе на входы подается обучающая выборка**, и по невязке между желаемым и действительным поведением сети итерационным методом наименьших квадратов **находятся оптимальные параметры узлов четвертого слоя**. На **втором этапе остаточная невязка передается с выхода сети на входы**, и методом обратного распространения ошибки модифицируются параметры узлов первого слоя.

FUZZY LOGIC TOOLBOX - В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Fuzzy Logic Toolbox

містить функції;
інтерактивні модулі з
графічним призначенням
для користувача інтерфейсом (з GUI);
демонстраційні приклади.



дозволяє створювати системи нечіткого логічного висновку і нечіткої класифікації в рамках середовища **MatLab**, з можливістю їх інтегрування в **Simulink**. Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є **FIS-структура** - система нечіткого виведення (**Fuzzy Inference System**).

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

THANK YOU FOR ATTENTION!

Куклін В. М.

К Подання знань і операції над ними;
навчальний посібник. / В. М. Куклін. Х .:
ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019.



ЩЕ

См.на сайтах

<http://ekhnuir.univer.kharkov.ua/handle/123456789/>

Видеолекции Харьковского университета

<https://www.youtube.com/channel/UCzFWNOQBRA1SysklOhQrPHA>

От математической логики к языкам программирования искусственного интеллекта//
//CS&CS. 2017. Issue 1 (5) p. 40-52.

<http://periodicals.karazin.ua/cscs/issue/view/577/showToc>

Will the artificial intelligence help us?/ CS&CS, 2016. Issue 4(4). p. 35-41.

<http://periodicals.karazin.ua/cscs/issue/view/576/showToc>