

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет»

Кафедра АСУ

Системы искусственного интеллекта

Лекция 4 **НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА**

Составитель:
д.т.н. Сараев Павел Викторович

Липецк - 2024

ПЛАН ЛЕКЦИИ

Глава 3. Нечёткие системы логического вывода.

- 3.5. Лингвистические переменные.
- 3.6. Основы теории приближенных рассуждений.
- 3.7. Нечеткие системы логического вывода с
одной входной переменной.
- 3.8. Нечеткие системы логического вывода с
несколькими входными переменными.
- 3.9. Нечеткое моделирование

3.5. Лингвистические переменные

3.5. Лингвистические переменные

Определение. **Лингвистическая переменная** – кортеж
 $\langle X, T(X), U, G, M \rangle$,

где X – имя переменной,

$T(X)$ – терм-множество;

U – универсальное множество;

G – грамматика (синтаксические правила);

M – множество правил для связи термина t с его значением $M(t)$ (семантические правила).

Пример.

Лингвистическая переменная «Возраст».

$X = \text{«Возраст»}$

$T(X) = \{\text{«Молодой»}, \text{«Зрелый»}, \text{«Пожилой»}, \text{«Старый»}\}$

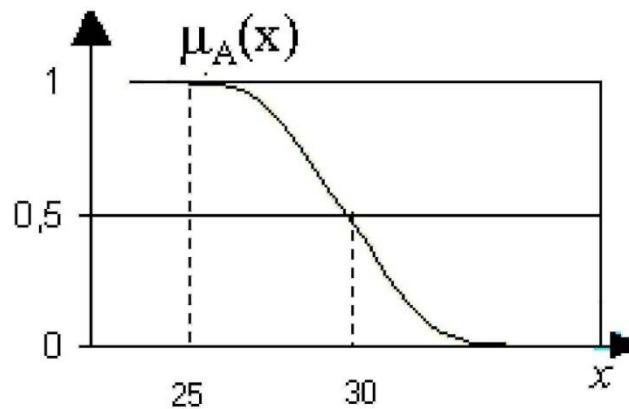
$U = [0; 120]$

$G = \{\text{«Очень»}, \text{«Более-менее»}\}$

3.5. Лингвистические переменные

$$M(\text{«Молодой»}) = A(x)$$

$$A(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 25 \\ \left(1 + \left(\frac{x - 25}{5}\right)^2\right)^{-1}, & 25 < x \leq 120 \end{cases}$$



$$g_1 = \text{«Очень»}: \quad (A(x))^2 \quad \forall x \in U$$

$$g_2 = \text{«Более-менее»}: \quad \sqrt{A(x)} \quad \forall x \in U$$

Пример

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

Пусть $y=f(x)$ – функциональная зависимость вещественных переменных x и y . В этом случае:

R (Правило): $y=f(x)$

Факт: $x=x'$

Заключение: $y=f(x')$

Пусть известна зависимость только для некоторых переменных:

R1: Если $x=x_1$ то $y=y_1$

R2: Если $x=x_2$ то $y=y_2$

...

Rn: Если $x=x_n$ то $y=y_n$

Факт: $x=x'$

Заключение: $y=y'$.

Это задача аппроксимации (интерполяции).

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

Определение. Пусть x и y – входная и выходная лингвистические переменные. Пусть A и B – нечеткие множества из термомножеств переменных x и y соответственно. **Лингвистическое правило** – конструкция вида

$R : \text{Если } x \text{ есть } A, \text{ то } y \text{ есть } B,$

где « x есть A » – нечеткое высказывание – **предпосылка**,

« y есть B » – нечеткое высказывание – **заключение**.

Пусть известна база лингвистических правил:

$R_1: \quad \text{Если } x \text{ есть } A_1, \text{ то } y \text{ есть } B_1$

$R_2: \quad \text{Если } x \text{ есть } A_2, \text{ то } y \text{ есть } B_2$

...

$R_n: \quad \text{Если } x \text{ есть } A_n, \text{ то } y \text{ есть } B_n$

Факт: $x \text{ есть } A'$

Заключение: $y \text{ есть } B'$

Это – задача теории приближенных рассуждений, введенная в 1979 году Л. Заде – основателем нечеткой логики.

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

Основа приближенных рассуждений – нечеткий вывод, основанный на [композиционном правиле](#).

Лингвистическое правило

R : Если x есть A , то y есть B

интерпретируется как нечеткая импликация $R = A \rightarrow B$.

Т.о. правило - нечеткое соответствие между A и B .

R : Если x есть A , то y есть B

Факт: x есть A'

Заключение: y есть B'

Композиционное правило:

$$B' = A' \circ (A \rightarrow B)$$

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

Импликация Мамдани:

$$R(x, y) = A(x) \rightarrow B(y) = \min \{A(x), B(y)\}$$

Композиционное правило:

$$B'(y) = \sup_{x \in X} \min \{A'(x), R(x, y)\} = \sup_{x \in X} \min \{A'(x), \min \{A(x), B(y)\}\} \quad \forall y \in Y$$

Импликация Ларсена:

$$R(x, y) = A(x) \rightarrow B(y) = A(x) \cdot B(y)$$

Композиционное правило:

$$B'(y) = \sup_{x \in X} \min \{A'(x), R(x, y)\} = \sup_{x \in X} \min \{A'(x), A(x) \cdot B(y)\} \quad \forall y \in Y$$

3.6. Основы теории приближенных рассуждений

Пример.

Зависимость давления (y) от температуры (x):

R: Если **Давление - Большое**, то **Температура- Средняя**

$X=\{800,830,860,900\}$ – множество определения **Давление**

$Y=\{300,350,400\}$ – множество определения **Температура**

Давление: нечеткое множество **Большое**:

$$A = 800/0,4 + 830/0,6 + 860/0,8 + 900/1$$

Температура: нечеткое множество **Средняя**:

$$B=300/0,5+350/1+400/0,5$$

Используем нечеткую импликацию Мамдани:

$$R = A \rightarrow B = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0,5 & 0,6 & 0,5 \\ 0,5 & 0,8 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 \end{bmatrix}$$

Пусть **Давление – Среднее**:

$$A'=800/0,5+ 830/0,8+ 860/0,9+ 900/0,5$$

max-min композиция: **Температура В'**:

$$B'=300/0,5+350/0,8+400/0,5$$

Пример

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Определение. Нечеткой системой логического вывода (НСЛВ) с одной входной и одной выходной переменной, основанной на лингвистических правилах, называется конструкция вида:

R_1 : Если x есть A_1 , то y есть B_1

R_2 : Если x есть A_2 , то y есть B_2

...

R_n : Если x есть A_n , то y есть B_n

где A_i , B_i - нечеткие множества из терм-множеств переменных x и y соответственно.

Вход: x есть A' .

Два способа получения выхода B' для y при входном значении A' для x , основанных на композиционном правиле:

1. С первоначальным вычислением индивидуальных выходов.
2. С первоначальной агрегацией правил.

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

1. С первоначальным вычислением индивидуальных выходов.

Алгоритм 1.

1. Вычислением нечетких соответствий для каждого правила

$$R_i = A_i \rightarrow B_i, i=1, \dots, n$$

2. Вычисление выходов для каждого правила на основе композиции:

$$B'_i = A' \circ R_i, i=1, \dots, n$$

3. Агрегация индивидуальных выходов:

$$B' = \text{Agg}(B_1, B_2, \dots, B_n)$$

Для применения алгоритма необходимо задать:

- вид импликации (Мамдани, Ларсена,...)
- правило композиции (max-min,...)
- оператор агрегации Agg (обычно: max, ...)

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Пример.

Зависимость давления (y) от температуры (x):

R_1 : Если **Давление - Большое**, то **Температура- Средняя**

R_2 : Если **Давление - Низкое**, то **Температура- Низкая**

$X=\{800,830,860,900\}$ – множество определения **Давление**

$Y=\{300,350,400\}$ – множество определения **Температура**

Давление:

нечеткое множество **Большое**:

$$A_1 = 800/0,4 + 830/0,6 + 860/0,8 + 900/1$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$A_2 = 800/1 + 830/0,9 + 860/0,6 + 900/0,4$$

Температура:

нечеткое множество **Средняя**:

$$B_1 = 300/0,5 + 350/1 + 400/0,5$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$B_2 = 300/1 + 350/0,4 + 400/0,1$$

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Пусть **Давление – Среднее:**

$$A' = 800/0,5 + 830/0,8 + 860/0,9 + 900/0,5$$

Импликация: Мамдани, композиция: max-min, Agg = max

1. Вычисление нечетких соответствий:

$$R_1 = A_1 \rightarrow B_1 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0,5 & 0,6 & 0,5 \\ 0,5 & 0,8 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = A_2 \rightarrow B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,4 & 0,1 \\ 0,9 & 0,4 & 0,1 \\ 0,6 & 0,4 & 0,1 \\ 0,4 & 0,4 & 0,1 \end{bmatrix}$$

2. Вычисление выходов для каждого правила:

$$B_1' = A' \circ R_1 = 300/0,5 + 350/0,8 + 400/0,5$$

$$B_2' = A' \circ R_2 = 300/0,8 + 350/0,4 + 400/0,1$$

3. Агрегация выходов $B' = \text{Agg}(B_1', B_2') =$

$$= \max\{B_1', B_2'\} = 300/0,8 + 350/0,8 + 400/0,5$$

Пример



3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

2. С первоначальной агрегацией правил

Алгоритм 2.

1. Вычислением нечетких соответствий для каждого правила

$$R_i = A_i \rightarrow B_i, i=1, \dots, n$$

2. Агрегация правил:

$$R' = \text{Agg}(R_1, R_2, \dots, R_n)$$

3. Вычисление выхода на основе композиции:

$$B' = A' \circ R$$

Для применения алгоритма необходимо задать:

- вид импликации (Мамдани, Ларсена,...)
- правило композиции (max-min,...)
- оператор агрегации Agg (обычно: max, ...)

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Пример.

Зависимость давления (y) от температуры (x):

R_1 : Если **Давление - Большое**, то **Температура- Средняя**

R_2 : Если **Давление - Низкое**, то **Температура- Низкая**

$X=\{800,830,860,900\}$ – множество определения **Давление**

$Y=\{300,350,400\}$ – множество определения **Температура**

Давление:

нечеткое множество **Большое**:

$$A_1 = 800/0,4 + 830/0,6 + 860/0,8 + 900/1$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$A_2 = 800/1 + 830/0,9 + 860/0,6 + 900/0,4$$

Температура:

нечеткое множество **Средняя**:

$$B_1 = 300/0,5 + 350/1 + 400/0,5$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$B_2 = 300/1 + 350/0,4 + 400/0,1$$

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Пусть **Давление – Среднее:**

$$A' = 800/0,5 + 830/0,8 + 860/0,9 + 900/0,5$$

Импликация: Мамдани, композиция: max-min, Agg = max

1. Вычисление нечетких соответствий:

$$R_1 = A_1 \rightarrow B_1 = \begin{bmatrix} 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0,5 & 0,6 & 0,5 \\ 0,5 & 0,8 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = A_2 \rightarrow B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0,4 & 0,1 \\ 0,9 & 0,4 & 0,1 \\ 0,6 & 0,4 & 0,1 \\ 0,4 & 0,4 & 0,1 \end{bmatrix}$$

2. Агрегация правил:

$$R = \text{Agg}(R_1, R_2) = \max\{R_1, R_2\} = \begin{bmatrix} 1 & 0,4 & 0,4 \\ 0,9 & 0,6 & 0,5 \\ 0,6 & 0,8 & 0,5 \\ 0,5 & 1 & 0,5 \end{bmatrix}$$

3. Вычисление выхода $B' = A' \circ R =$

$$= 300/0,8 + 350/0,8 + 400/0,5$$

Пример

3.7. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной

Предложение 1. Если $\circ = \text{max-min}$, $\text{Agg} = \text{max}$, импликация Мамдани, то выходы, полученные с помощью алгоритмов 1 и 2, совпадают:

$$A' \circ \text{Agg}(R_1, R_2, \dots, R_n) = \text{Agg}(A' \circ R_1, A' \circ R_2, \dots, A' \circ R_n)$$

(C)

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

Определение. Нечеткой системой логического вывода (НСЛВ) с несколькими входными и одной выходной переменной, основанной на лингвистических правилах, называется конструкция вида:

R_1 : Если x_1 есть A_{11} и x_2 есть A_{12} и ... и x_m есть A_{1m} , то $у$ есть B_1

R_2 : Если x_1 есть A_{21} и x_2 есть A_{22} и ... и x_m есть A_{2m} , то $у$ есть B_2

...

R_n : Если x_1 есть A_{n1} и x_2 есть A_{n2} и ... и x_m есть A_{nm} , то $у$ есть B_n
где A_{ij} , B_i - нечеткие множества из терм-множеств переменных x_j и $у$ соответственно.

Вход: x_1 есть A'_1 и x_2 есть A'_2 и ... и x_m есть A'_m

Композиционные правила вывода для таких систем неприменимы.

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

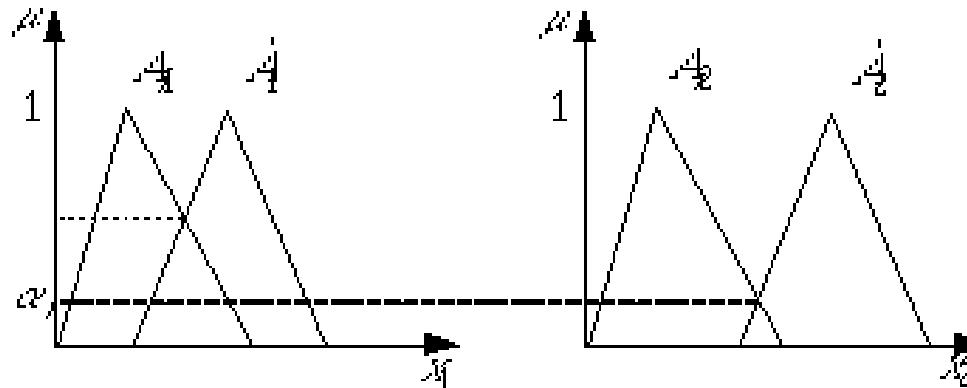
Определение. Уровень истинности предпосылки i -го правила (*firing level*) – вещественное число α_i , характеризующее степень соответствия входов системы A'_1, A'_2, \dots, A'_m нечетким множествам $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{im}$ в предпосылке i -го правила:

$$\alpha_i = \min_{j=1}^m \left[\max_{x_j \in X_j} \min \{A'_j(x_j), A_{ij}(x_j)\} \right]$$

где X_j – множество определения переменной x_j .

Для двух входных переменных:

$$\alpha_i = \min \left\{ \max_{x_1 \in X_1} \min \{A'_1(x_1), A_{i1}(x_1)\}, \max_{x_2 \in X_2} \min \{A'_2(x_2), A_{i2}(x_2)\} \right\}$$



3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

Алгоритм 3.

1. Вычисление уровней истинности предпосылок для каждого правила

$$\alpha_i, i=1, \dots, n$$

2. Вычисление выходов для каждого правила на основе импликации:

$$B'_i(y) = \alpha_i \rightarrow B_i(y), i=1, \dots, n$$

3. Агрегация индивидуальных выходов:

$$B' = \text{Agg}(B_1, B_2, \dots, B_n)$$

Для применения алгоритма необходимо задать:

- вид импликации (Мамдани, Ларсена,...)
- оператор агрегации Agg (обычно s -норма: \max, \dots)

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

Пример.

Зависимость давления (y) от температуры (x):

R_1 : Если **Давление – Большое и Объем – Большой**
то **Температура- Высокая**

R_2 : Если **Давление – Низкое и Объем – Большой**
то **Температура- Средняя**

R_3 : Если **Давление – Большое и Объем – Маленький**
то **Температура- Средняя**

$X_1=\{800,830,860,900\}$ – множество определения **Давление**

$X_2=\{500,520,540,560\}$ – множество определения **Объем**

$Y=\{300,350,400\}$ – множество определения **Температура**

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

Давление:

нечеткое множество **Большое**:

$$A_{11} = A_{31} = 800/0,4 + 830/0,6 + 860/0,8 + 900/1$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$A_{21} = 800/1 + 830/0,9 + 860/0,6 + 900/0,4$$

Объем:

нечеткое множество **Большой**:

$$A_{12} = A_{22} = 500/0 + 520/0,3 + 540/0,7 + 560/1$$

нечеткое множество **Маленький**:

$$A_{23} = 500/1 + 520/0,8 + 540/0,6 + 560/0,2$$

Температура:

нечеткое множество **Высокая**:

$$B_1 = 300/0,1 + 350/0,5 + 400/1$$

нечеткое множество **Средняя**:

$$B_2 = B_3 = 300/0,5 + 350/1 + 400/0,5$$

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

Пусть **Давление – Среднее:**

$$A'_1 = 800/0,5 + 830/0,8 + 860/0,9 + 900/0,5$$

Пусть **Объем – Достаточно маленький:**

$$A'_2 = 500/0,9 + 520/0,5 + 540/0,3 + 560/0$$

Импликация: Мамдани, Agg = max

1. Вычисление уровней истинности предпосылок правил:

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \min \left\{ \max \left[\min(0,5;0,4), \min(0,8;0,6), \min(0,9;0,8), \min(0,5;1) \right], \right. \\ &\quad \left. \max \left[\min(0,9;0), \min(0,5;0,3), \min(0,3;0,7), \min(0;1) \right] \right\} = \\ &= \min \left\{ \max [0,4;0,6;0,8;0,5], \max [0;0,3;0,3;0] \right\} = \min \{0,8;0,3\} = 0,3\end{aligned}$$

$$\alpha_2 = \underline{\min \left\{ \max [0,5;0,8;0,6;0,4], \max [0;0,3;0,3;0] \right\}} = \min \{0,8;0,3\} = 0,3$$

$$\alpha_3 = \underline{\min \left\{ \max [0,4;0,6;0,8;0,5], \max [0,9;0,5;0,3;0] \right\}} = \min \{0,8;0,9\} = 0,8$$

3.8. Нечеткие системы логического вывода с несколькими входными переменными

2. Вычисление выходов правил:

$$B'_1 = \alpha_1 \rightarrow B_1 = \min\{\alpha_1, B_1\} = 300/0,1 + 350/0,3 + 400/0,3$$

$$B'_2 = \alpha_2 \rightarrow B_2 = \min\{\alpha_2, B_2\} = 300/0,3 + 350/0,3 + 400/0,3$$

$$B'_3 = \alpha_3 \rightarrow B_3 = \min\{\alpha_3, B_3\} = 300/0,5 + 350/0,8 + 400/0,5$$

3. Агрегация выходов правил:

$$B' = \text{Agg}(B_1, B_2, B_3) = \max(B_1, B_2, B_3) = 300/0,5 + 350/0,8 + 400/0,5.$$

Пример

Предложение 2. Если $\circ = \text{max-min}$, $\text{Agg} = \text{max}$, импликация Мамдани, то выходы, полученные с помощью алгоритмов 1 (2) и 3, совпадают.

(C)

3.9. Нечеткое моделирование

3.9. Нечеткое моделирование

Алгоритм.

1. Фазификация (*fuzzification*) – приведение к нечеткости.
2. Логический вывод.
3. Дефазификация (*defuzzification*) – приведение к четкости.

Определение. Синглетон для четкого значения x_0 – нечеткое множество с функцией принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x = x_0 \\ 0 & x \neq x_0 \end{cases}$$

Для синглетонов формула для вычисления уровней истинности:

$$\alpha_i = \min_{j=1}^m A_{ij}(x_{j_0})$$

Для двух входов:

$$\alpha_i = \min \{A_{i1}(x_{10}), A_{i2}(x_{20})\}$$

3.9. Нечеткое моделирование

Определение. Дефазификация – получение четкого значения y^* для нечеткого множества B' .

Способы:

- центр тяжести (*Center-of-Gravity*):

$$y^* = \frac{\sum y_i B'(y_i)}{\sum B'(y_i)}$$

- первый максимум (*First-of-Maxima*):

$$y^* = \min \{y : B'(y) = \max_u B'(u)\}$$

- средний максимум (*Middle-of-Maxima*):

$$y^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, y_i \in \left\{y : B'(y) = \max_u B'(u)\right\}$$

- высотная (*Height Defuzzification*):

$$y^* = \frac{\sum y_i B'(y_i)}{[B']^\alpha}$$

3.9. Нечеткое моделирование

Определение. **Нечеткая система Такаги-Суджено (Takagi-Sugeno)** – комбинация лингвистической и аналитической моделей:

R_1 : Если x_1 есть A_{11} и ... и x_m есть A_{1m} , то $y_1=f_1(x_1, \dots, x_m)$

R_2 : Если x_1 есть A_{21} и ... и x_m есть A_{2m} , то $y_2=f_2(x_1, \dots, x_m)$

...

R_n : Если x_1 есть A_{n1} и ... и x_m есть A_{nm} , то $y_n=f_n(x_1, \dots, x_m)$

где A_{ij} - нечеткие множества из терм-множеств переменных x_j .

Вход: $x_1 = x_{10}, \dots, x_m = x_{m0}$ – четкие значения

Выход: y^* - четкое значения

Наиболее распространены аффинные модели:

$$y_i=f_i(x_1, \dots, x_m)=b_{i0}+b_{i1}x_1+\dots+b_{im}x_m$$

3.9. Нечеткое моделирование

Алгоритм.

1. Вычисление уровней истинности предпосылок для каждого правила

$$\alpha_i = \min_{j=1}^m A_{ij}(x_{j_0}), i=1, \dots, n$$

2. Вычисление выходов для каждого правила на основе импликации:

$$\text{то } y_i^* = f_i(x_{10}, \dots, x_{m0}), i=1, \dots, n$$

3. Агрегация индивидуальных выходов (методом центра тяжести):

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i y_i^*}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

3.9. Нечеткое моделирование

Пример. Зависимость давления (y) от температуры (x):

R_1 : Если **Давление – Большое и Объем – Большой**
то **Температура**: $y_1=0,25x_1+0,2x_2$

R_2 : Если **Давление – Низкое и Объем – Большой**
то **Температура**: $y_2=0,3x_1+0,2x_2$

R_3 : Если **Давление – Большое и Объем – Маленький**
то **Температура**: $y_3=0,2x_1+0,3x_2$

$X_1=\{800,830,860,900\}$ – множество определения **Давление**

$X_2=\{500,520,540,560\}$ – множество определения **Объем**

Давление:

нечеткое множество **Большое**:

$$A_{11}=A_{31}=800/0,4 + 830/0,6 + 860/0,8 + 900/1$$

нечеткое множество **Низкая**:

$$A_{21}=800/1 + 830/0,9 + 860/0,6 + 900/0,4$$

Объем:

нечеткое множество **Большой**:

$$A_{12}=A_{22}=500/0 + 520/0,3 + 540/0,7 + 560/1$$

нечеткое множество **Маленький**:

$$A_{23}=500/1 + 520/0,8 + 540/0,6 + 560/0,2$$

3.9. Нечеткое моделирование

Пусть

$$x_{10}=860, x_{20}=520$$

1. Вычисление уровней истинности предпосылок правил:

$$\alpha_1 = \min\{A_{11}(860), A_{12}(520)\} = \min\{0,8;0,3\} = 0,3$$

$$\alpha_2 = \min\{A_{21}(860), A_{22}(520)\} = \min\{0,6;0,3\} = 0,3$$

$$\alpha_3 = \min\{A_{31}(860), A_{32}(520)\} = \min\{0,8;0,8\} = 0,8$$

2. Вычисление выходов правил:

$$y^*_1=319$$

$$y^*_2=362$$

$$y^*_3=328$$

3. Агрегация выходов правил:

$$y^* = \frac{319 \cdot 0,3 + 362 \cdot 0,3 + 328 \cdot 0,8}{0,3 + 0,3 + 0,8} = \frac{466,7}{1,4} \approx 333,4$$

Пример



ВЫВОДЫ (ОСНОВНЫЕ МОМЕНТЫ ЛЕКЦИИ)

1. Удобное средство моделирования человеческих понятий – **лингвистические переменные**.
2. Основной способ логического вывода в теории приближенных вычислений – **композиционное правило**.
3. Нечеткие системы логического вывода (НСЛВ) – конструкции основанные на **правилах ЕСЛИ ... ТО ...** аналогично классическим экспертным системам.
4. Для НСЛВ с одной входной переменной существует два композиционных правила вывода: с **первоначальным вычислением выходов правил**, с **первоначальной агрегацией правил**.
5. Универсальный способ логического вывода основан на вычислении **уровней истинностей** предпосылок правил.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Лингвистическая переменная.
2. Теория приближенных рассуждений. Композиционное правило вывода.
3. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной. Логический вывод на основе первоначального вычисления выходов правил.
4. Нечеткие системы логического вывода с одной входной переменной. Логический вывод на основе первоначальной агрегации правил.
5. Логический вывод на основе вычисления уровней истинностей правил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А., Сараев П.В., Черпаков И.В. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения. Липецк: ЛЭГИ, 2002 – 107с.
2. Асай К., Ватада Д., Иваи С и др. / Под ред. Тэрано Т., Асай К, Сугэно М. Прикладные нечеткие системы.– М: Мир, 1993.– 368 с.
3. Fuller R. Introduction to Neuro-Fuzzy Systems.– Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 2000.– 289 р.

Спасибо за внимание!