Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Ульяновский государственный Технический университет

Кафедра «Вычислительная техника»

Дисциплина «Системы искусственного интеллекта»

**Лабораторная работа №2**

**«Нечеткая логика»**

**Выполнил**:

студент гр. ИВТАСбд-41

Афанасьев К.М.

**Проверил работу:**

Хайруллин И. Д.

Ульяновск,

2025

**Общее задание**

Необходимо разработать программу на языке python, которая реализует предложенное вариантом задание. Предметную область можно выбрать из предложенного списка, либо выбрать свою.

**Задача. Вариант №2:**

На языке Python разработайте скрипт, позволяющий задать нечеткое множество с трапециевидной функцией принадлежности и отобразить его параметры, а также степень принадлежности вводимого пользователем объекта.

**Предметная область №8:**

**Медицинская диагностика:**

* Температура тела: низкая, нормальная, высокая, критическая
* Уровень боли: нет боли, легкая, средняя, сильная

**Теоретическая подготовка**

*Что такое Нечеткая Логика?*

**Нечеткая логика (Fuzzy Logic)** — это раздел математики и логики, который расширяет традиционную, или булеву, логику.

В то время как традиционная логика (как в программировании) оперирует только двумя состояниями:

* **Истина (1)** или **Ложь (0)**;
* **Да** или **Нет**;

Нечеткая логика позволяет работать с частичной истинностью (Partial Truth).

Главный принцип нечеткой логики: объект может принадлежать к множеству в некоторой степени. Эта степень измеряется числом в интервале от 0 до 1.

* **0** означает полную **непринадлежность** (Ложь).
* **1** означает полную **принадлежность** (Истина).
* **0.5** означает **равновероятность** (одинаково и истина, и ложь).
* **0.8** означает "очень близко к истине".

Например, в моей предметной области (медицинская диагностика):

* Пациент с температурой **39 °C** полностью принадлежит к множеству «Высокая температура» (μ = 1.0).
* Пациент с температурой **36.3 °C** частично принадлежит к множеству «Низкая температура» (μ ≈ 0.4) и одновременно частично принадлежит к множеству «Нормальная температура» (μ ≈ 0.6).
* Пациент с уровнем боли **6** полностью принадлежит к множеству «Средняя боль» (μ = 1.0).
* Пациент с уровнем боли **2** частично принадлежит к множеству «Нет боли» (μ ≈ 0.5) и частично к множеству «Лёгкая боль» (μ ≈ 0.5).

***Что такое трапециевидная функция принадлежности?***

**Трапециевидная функция принадлежности (Trapezoidal Membership Function)** — это один из наиболее часто используемых способов задания нечётких множеств.  
Она применяется для описания понятий, которые имеют **область значений с одинаковой высокой принадлежностью** (плато), а по краям — постепенный переход от 0 к 1 и обратно (например, «высокая вероятность победы», «сильный дождь», «высокая скорость»).

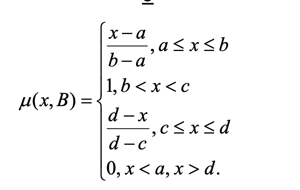
Трапециевидная функция, часто обозначаемая как trapmf (от trapezoidal membership function), полностью определяется **четырьмя параметрами**:

1. **a (Левая граница)** – точка, левее которой объект полностью не принадлежит множеству (μ(x) = 0).
2. **b (Начало плато)** – точка, начиная с которой объект считается «частично принадлежащим» и постепенно достигает полной принадлежности.
3. **c (Конец плато)** – точка, до которой объект полностью принадлежит множеству (μ(x) = 1).
4. **d (Правая граница)** – точка, правее которой объект снова полностью не принадлежит множеству (μ(x) = 0).

Таким образом:

* На интервале [a, b] значение функции плавно растёт от 0 до 1.
* На интервале [b, c] степень принадлежности остаётся равной 1 (идеальная зона).
* На интервале [c, d] значение функции плавно убывает от 1 до 0.

**Математическая формула**



*Что такое нечеткое множество?*

**Нечёткое множество (Fuzzy Set)** — это ключевое понятие в нечёткой логике. Оно представляет собой коллекцию элементов, граница принадлежности к которой является **размытой или нечёткой**, в отличие от традиционного (чёткого) множества.

Нечёткое множество A в универсальном множестве X определяется функцией принадлежности, μA​(x), которая присваивает каждому элементу x из X числовое значение в диапазоне от 0 до 1.

* **μA​(x)=1**: Объект x **полностью принадлежит** множеству A.
* **μA​(x)=0**: Объект x **полностью не принадлежит** множеству A.
* **0<μA​(x)<1**: Объект x **частично принадлежит** множеству A (например, 0.7 означает принадлежность на 70%).

*Что такое операция дополнения?*

Операция дополнения (Complement) в нечёткой логике — это аналог логической операции НЕ (NOT) из традиционной (булевой) логики.

Её назначение — найти степень принадлежности элемента к противоположному множеству.

Операция дополнения, обозначаемая как ¬A или A, вычисляется на основе **степени принадлежности** объекта к исходному множеству (A).

Для стандартного нечёткого дополнения используется простая формула, называемая **стандартной нечёткой отрицающей функцией (Standard Fuzzy Complement)**:



Где:

* μ¬A​(x) — это степень принадлежности объекта x к множеству "НЕ A".
* μA​(x) — это степень принадлежности объекта x к исходному множеству A.

**Описание предметной области**

Предметная область — **оценка состояния пациента по температуре тела и уровню боли**.

* **Температура тела** — один из ключевых показателей состояния организма. В медицине часто выделяют четкие границы:
  + ниже 36 °C трактуется как «низкая температура»,
  + 36–37.5 °C — «нормальная температура»,
  + 37.5–39 °C — «высокая температура»,
  + выше 39 °C — «критическая температура».
* **Уровень боли** обычно оценивается по шкале от 0 до 10:
  + 0 — «нет боли»,
  + 1–3 — «лёгкая боль»,
  + 4–6 — «средняя боль»,
  + 7–10 — «сильная боль».

**Проблема четкой логики**

В реальной медицинской практике состояние пациента не всегда можно разделить на строго фиксированные категории.

* Пациент с температурой **37.4 °C** и пациент с температурой **37.6 °C** отличаются незначительно, но по четкой логике первый считается «нормальным», а второй — «высокая температура».
* Аналогично, уровень боли **3** (лёгкая) и **4** (средняя) находятся рядом, но попадают в разные категории.

Такие границы не учитывают постепенный переход между состояниями.

**Решение через нечеткую логику**

Нечеткая логика вводит плавные переходы:

* Пациент с температурой **37.2 °C** может принадлежать к множеству «Нормальная температура» на 60%, и одновременно к множеству «Высокая температура» на 40%.
* Пациент с уровнем боли **2** может на 50% принадлежать к множеству «Нет боли» и на 50% — к множеству «Лёгкая боль».

Это позволяет гибко описывать реальные ситуации и учитывать размытость границ состояний.

**В рамках лабораторной работы моделируются нечеткие множества:**

* **«Низкая», «Нормальная», «Высокая» и «Критическая температура»**
* **«Нет боли», «Лёгкая», «Средняя» и «Сильная боль»**

Для их описания выбрана **трапециевидная функция принадлежности**, которая хорошо отражает ситуацию, когда есть диапазон «уверенного состояния» (плато с μ=1), а по краям значения постепенно уменьшаются.

Программа позволяет:

* определить степень принадлежности введённого значения температуры и боли к каждому множеству;
* визуализировать графики функций принадлежности, подтверждающие плавные переходы между состояниями.

**Описание реализации**

Реализация опирается на одну ключевую функцию:

* trapezoid — отвечает за вычисление степени принадлежности μA(x)\mu\_A(x)μA​(x) для чёткого значения xxx (температуры тела или уровня боли) к заданному нечеткому множеству.  
  Эта функция задаётся четырьмя параметрами (a,b,c,d)(a, b, c, d)(a,b,c,d), которые определяют:
  + левую границу,
  + начало плато (область, где μ=1),
  + конец плато,
  + правую границу множества.

**Конфигурация и ввод данных**

В коде заданы конкретные параметры для моделирования нечетких множеств:

**Температура тела**

* низкая: (34, 35, 36, 36.5)
* нормальная: (36, 36.5, 37, 37.5)
* высокая: (37, 38, 39, 40)
* критическая: (39, 40, 42, 43)

**Уровень боли (по шкале 0–10)**

* нет боли: (0, 0, 1, 2)
* лёгкая: (1, 2, 3, 4)
* средняя: (3, 4, 6, 7)
* сильная: (6, 7, 9, 10)

Программа строит графики для обеих шкал (температуры и боли), а затем запрашивает ввод чётких значений от пользователя (например, температура = 37 °C, боль = 4).

**Обработка и вывод результатов**

Для каждого введённого значения программа выполняет:

1. Вычисление степени принадлежности μA(x)\mu\_A(x)μA​(x) к каждому множеству по трапециевидной функции.
2. Отображение тех множеств, где степень принадлежности больше 0.

Таким образом, вывод программы показывает «размытое» состояние пациента: одно значение может частично принадлежать сразу нескольким категориям.

**Визуальное подтверждение**

В начале работы программа строит графики функций принадлежности:

* Левая диаграмма показывает распределение по температуре тела (низкая, нормальная, высокая, критическая).
* Правая диаграмма показывает распределение по уровню боли (нет боли, лёгкая, средняя, сильная).

Плавные пересечения линий на графиках подтверждают корректность работы трапециевидных функций и иллюстрируют принцип нечёткой логики: состояние пациента может одновременно относиться к нескольким категориям с разной степенью принадлежности.

**Контрольные вопросы.**

1. **Дайте определение нечеткому множеству.**

**Нечёткое множество (Fuzzy Set)** — это ключевое понятие нечёткой логики, которое представляет собой коллекцию элементов, граница принадлежности к которой является **размытой или плавной**, в отличие от традиционного (чёткого) множества.

Главное отличие:

* В чётком множестве элемент **либо принадлежит (1), либо не принадлежит (0)**.
* В нечётком множестве элемент принадлежит с определённой **степенью принадлежности** (μ), которая выражается числом в интервале **от 0 до 1**.

Например, множество "Нормальный вес" не имеет резкой границы: человек может принадлежать к нему со степенью 0.36, что означает, что он на 36% "нормальный" и на 64% "не нормальный".

1. **Какие способы задания функций принадлежности вы знаете?**

Функция принадлежности (μ(x)) — это графический и математический способ определения, насколько элемент x принадлежит нечёткому множеству. Существует несколько стандартных видов этих функций:

1. **Треугольная функция (Triangular, trimf):** Самый простой и интуитивный способ. Определяется тремя точками (a,m,b), где m — пик (1.0), а a и b — границы (0.0). **Эту функцию я реализовал** в своей работе.
2. **Трапециевидная функция (Trapezoidal, trapmf):** Похожа на треугольную, но имеет плоский пик (плато) между двумя точками (a,b,c,d). Используется для моделирования понятий с широкой зоной "идеального" значения (например, "средняя температура").
3. **Гауссова функция (Gaussian, gaussmf):** Использует форму кривой нормального распределения (колокола). Определяется центром и стандартным отклонением. Она даёт более гладкие, нелинейные переходы, чем треугольная или трапециевидная.
4. **Сигмоидальная функция (Sigmoidal, sigmf):** Имеет S-образную форму. Используется для моделирования понятий, которые либо только растут ("высокий возраст"), либо только падают ("низкая зарплата"), без возврата к нулю.
5. **Какую операцию вы реализовали в своей лабораторной работе?**

В своей лабораторной работе я реализовал операцию **вычисления степени принадлежности элементов к нечетким множествам**.

Для этого была использована **трапециевидная функция принадлежности**, позволяющая описывать размытые категории:

* для температуры тела — «низкая», «нормальная», «высокая», «критическая»;
* для уровня боли — «нет боли», «лёгкая», «средняя», «сильная».

Программа принимает значения температуры и уровня боли, после чего вычисляет степени принадлежности введённых данных к каждому множеству.

Таким образом, реализована операция определения принадлежности чёткого значения (введённого пользователем) к набору нечетких множеств с помощью функций принадлежности.