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

Борков И.Е.

**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 №7:**

На языке Python разработайте скрипт, позволяющий выполнить операцию дополнения, заданного пользователем нечеткого множества с треугольной функцией принадлежности. Входными данными будут параметры функции принадлежности и четкие объекты множества. Выходными – дополнение нечеткого множества.

**Предметная область №7:**

**Здоровье человека**

* Индекс массы тела (BMI): недостаточный вес, нормальный, избыточный вес, ожирение

**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**;
* **Черное** или **Белое**.

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:

* Человек с BMI 21.5 **полностью принадлежит** к множеству "Нормальный вес" (μ=1.0).
* Человек с BMI 25.0 **частично принадлежит** к множеству "Нормальный вес" (μ≈0.36), и, соответственно, **частично принадлежит** к множеству "Избыточный вес" (μ≈0.64).

.

*Что треугольная функция принадлежности?*

Треугольная функция принадлежности (Triangular Membership Function) — это один из самых распространённых и интуитивно понятных способов задания нечётких множеств.

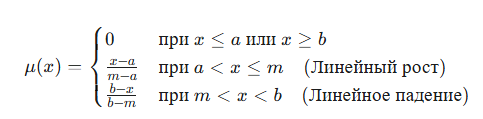
Она используется для моделирования понятий, которые имеют четко выраженную "идеальную" точку и плавное убывание качества по обе стороны от неё (например, "средний рост", "нормальная температура", "идеальная скорость").

Треугольная функция, часто обозначаемая как trimf (от *triangular membership function*), полностью определяется тремя ключевыми параметрами:

1. **a (Нижняя граница):** Точка на оси X, где степень принадлежности (μ(x)) равна **0**. Левее этой точки объект полностью не принадлежит множеству.
2. **m (Пик или Центр):** Точка на оси X, где степень принадлежности достигает **1.0**. Это "идеальное" значение для данного нечеткого понятия.
3. **b (Верхняя граница):** Точка на оси X, где степень принадлежности снова становится **0**. Правее этой точки объект также полностью не принадлежит множеству.

**Математическая формула**

Функция состоит из двух линейных сегментов:



*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 здоровья человека на основе Индекса массы тела (Body Mass Index, BMI)**.

* **BMI** — это ключевой медицинский показатель, который рассчитывается как отношение веса человека (в килограммах) к квадрату его роста (в метрах): BMI= 
* Этот показатель используется для широкого скрининга и классификации веса человека по категориям: недостаточный, нормальный, избыточный или ожирение.

Медицинские и стандартные классификации BMI используют **чёткие, резкие границы** (например, нормальный вес заканчивается на 24.9, избыточный начинается с 25.0).

| Категория | Чёткий диапазон (ВОЗ) |
| --- | --- |
| Нормальный вес | 18.5≤BMI≤24.9 |
| Избыточный вес | BMI≥25.0 |

Проблема в том, что в реальном мире:

* Человек с BMI 24.9 и человек с BMI 25.1 по своим физиологическим параметрам практически **идентичны**.
* **Чёткая логика** вынуждена классифицировать их в разные категории, игнорируя эту близость.

**Нечёткая логика** решает эту проблему, вводя **плавные переходы**. Она позволяет человеку с BMI 25.1 быть "нормальным" на 36% и "избыточным" на 64%, что гораздо точнее отражает реальную ситуацию, чем простое "Нет" для категории "Нормальный вес".

В рамках лабораторной работы я моделирую **Нечёткое множество "Нормальный вес"** (A):

* **Смысл:** Степень, с которой конкретное значение BMI принадлежит категории "нормального" веса.
* **Функция:** Для моделирования этого множества выбрана **Треугольная функция принадлежности**, которая идеально подходит для понятий с четко выраженным центром и плавным затуханием к краям.
* **Дополнение (¬A):** Операция дополнения вычисляет степень принадлежности к множеству **"НЕ Нормальный вес"**, которое включает в себя как недостаточный, так и избыточный вес.

**Описание реализации**

Реализация опирается на две ключевые функции. Первая — triangular\_membership — отвечает за вычисление **степени принадлежности** (μA​(x)) четкого объекта x (значения BMI) к нечеткому множеству A. Эта функция задается тремя параметрами (a,m,b), которые определяют нижнюю границу, пик (где μ=1) и верхнюю границу множества соответственно. Вторая функция, complement\_fuzzy\_set, реализует операцию **дополнения** (μ¬A​(x)). Она использует стандартную нечёткую формулу μ¬A​(x)=1−μA​(x), что позволяет вычислить степень принадлежности к множеству "НЕ Нормальный вес".

**Конфигурация и ввод данных**

В коде заданы конкретные параметры для моделирования "Нормального веса": A=16.0, M=21.5, B=27.0. Эти значения устанавливают идеальный BMI на уровне 21.5 и определяют плавный переход к категориям недостаточного и избыточного веса в пределах от 16.0 до 27.0. Основная функция run\_complement\_operation сначала выводит эти параметры для информирования пользователя, а затем запрашивает ввод **чётких объектов** — конкретных значений BMI, которые будут проверены.

**Обработка и вывод результатов**

Для каждого введенного пользователем значения BMI код последовательно выполняет вычисления: сначала определяется степень μA​(x) с помощью треугольной функции, а затем — степень μ¬A​(x) через операцию дополнения. Результаты выводятся в форматированную таблицу, где наглядно демонстрируется принцип нечеткой логики: для любого объекта сумма степеней принадлежности к множеству и его дополнению всегда равна единице, то есть μA​(x)+μ¬A​(x)=1.

**Визуальное подтверждение**

В конце строится график, который служит визуальным подтверждением корректности реализации. На графике синяя линия представляет функцию принадлежности "Нормальный вес" (μA​), а красная пунктирная линия — её дополнение (μ¬A​). Четкая симметрия линий относительно оси y=0.5 и их пересечение ровно в этой точке однозначно подтверждают правильность выполненной операции дополнения в соответствии с аксиомами нечеткой логики.

**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?**

Я реализовал операцию **Дополнения (Complement)**, также известную как логическое **НЕ** (¬A).

**Суть операции:**

Операция дополнения вычисляет степень принадлежности элемента к множеству, **противоположному исходному**.

**Формула:**

Для стандартного нечёткого дополнения используется формула:

**В контексте BMI:**

Если мое исходное множество A — **"Нормальный вес"**, то реализованная операция дополнения вычисляет μ¬A​(x) — степень, с которой человек принадлежит к множеству **"НЕ Нормальный вес"** (то есть, к недостатку или избытку веса).