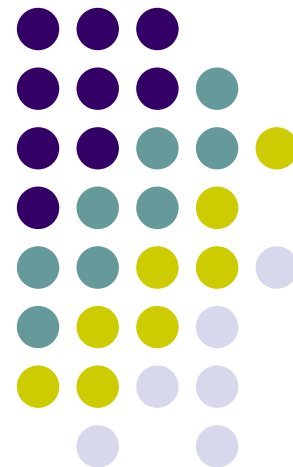


# Классификация на основе нечеткого логического вывода



Чуйко А.В.

Королев А.С.



# Введение

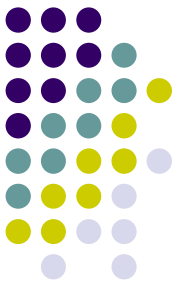


Теория нечетких множеств была разработана профессором Лотфи Заде и ведет свое начало с 1965г.

Нечеткие множества очень актуальны в наше время. Они используются во многих областях науки в том числе в интеллектуальных системах.

Была доказана теорема о нечеткой аппроксимации, согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике.

Практический опыт разработки систем нечеткого логического вывода свидетельствует что сроки и стоимость их проектирования значительно меньше чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом обеспечивается требуемый уровень робастности и прозрачности моделей.



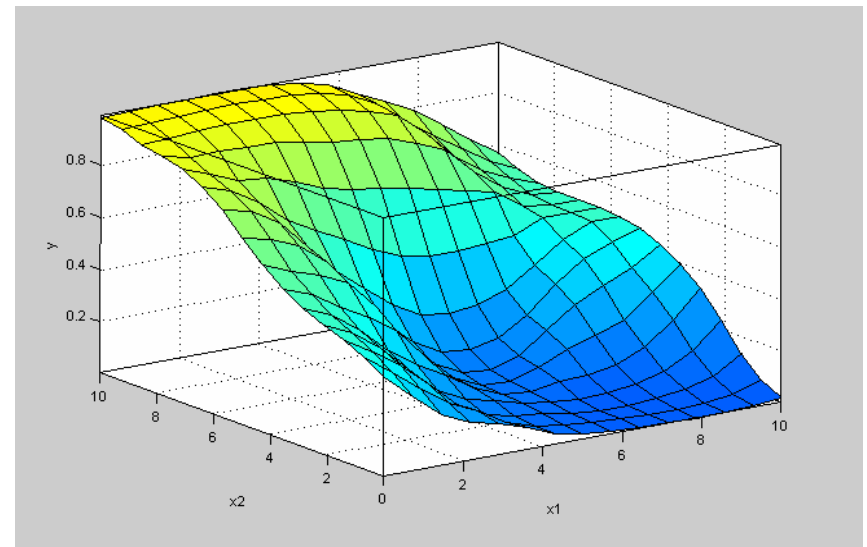
# Нечеткий логический вывод

Нечетким логическим выводом (fuzzy logic inference) называется аппроксимация зависимости  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  с помощью нечеткой базой знаний и операций над нечеткими множествами.

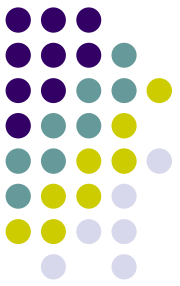
Таблица 1. Пример нечеткой базы знаний

$x_1$	$x_2$	$y$	$w$ (до настройки)
Средний	Низкий	Класс 1	1
Средний	Ниже Среднего	Класс 1	1
Низкий	Ниже Среднего	Класс 2	1
Высокий	Выше Среднего	Класс 2	1
Низкий	Выше Среднего	Класс 3	1
Средний	Высокий	Класс 3	1

Рис. 1. Пример нечеткого логический вывода в графическом виде



# Теоретические основы классификации с помощью нечеткого логического вывода



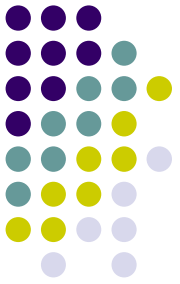
Задача классификации состоит в выполнении отображения вида:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow y \in \{d_1, d_2, \dots, d_m\}. \quad (1)$$

Классификация на основе нечеткого логического вывода происходит по базе знаний вида:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left( \bigcap_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \quad \text{с весом} \quad w_{jp} \right) \rightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

# Теоретические основы классификации с помощью нечеткого логического вывода



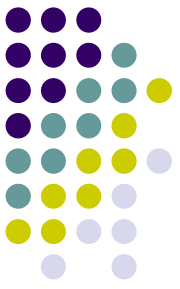
Степени принадлежности объекта  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  к классам  $d_j$  рассчитываются так:

$$\mu_{d_j}(X^*) = \bigvee_{p=1, k_j} w_{jp} * \bigwedge_{i=1, n} [\mu_{jp}(x_i^*)], \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где  $\bigvee$  ( $\bigwedge$ ) - операция из s-нормы (t-нормы), т.е. из множества реализаций логической операций ИЛИ (И). Наиболее часто используются следующие реализации: для операции ИЛИ - нахождение максимума и для операции И - нахождение минимума.

В качестве решения выбирают класс с максимальной степенью принадлежности:

$$y^* = \arg \max_{\{d_1, d_2, \dots, d_m\}} (\mu_{d_1}(X^*), \mu_{d_2}(X^*), \dots, \mu_{d_m}(X^*)) \quad (4)$$



# Нечеткий классификатор

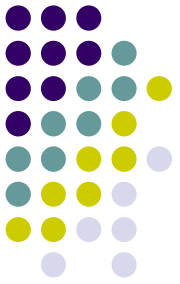
Классификатор представляет собой программу [fuz\\_classifier.m](#), выполняющую классификацию на основе нечеткого логического вывода.

В качестве нечеткого классификатора используется система нечеткого логического вывода типа Сугено. Классам решений соответствуют термы выходной переменной. Наименование класса задается как элемент терм-множества выходной переменной.

**Рис.2 Термы выходной переменной (терм-множество)**



# Функции нечеткой классификации



Функция нечеткой классификации вызывается в формате:

**decision = fuz\_classifier(x, fis, type) ,**

(5)

где  $x$  - вектор информативных признаков объекта классификации;  
 $fis$  - система нечеткого логического вывода;  $type$  - тип возвращаемого функцией результата.  
Допустимые значения 'number' - порядковый номер класса и 'name' - имя класса.  
Значение по умолчанию - 'number';  $decision$  - результат классификации для объекта  $x$ .

Функция **fuz\_classifier** вызывает функцию **evalfis** в формате:

**[a, b, c, d] = evalfis(x, fis) ,**

(6)

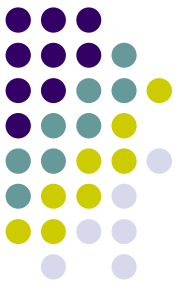
что позволяет получить промежуточные результаты нечеткого логического вывода. Затем находятся правила с максимальной степенью выполнения. Если таких правил несколько и они для различных классов, тогда подсчитывается количество этих правил для каждого класса решений. После этого выбирается решение, имеющее наибольшее количество правил с максимальной степенью выполнения.

Функция нечеткой классификации может вызываться с двумя выходными аргументами:

**[decision mf\_grades] = fuz\_classifier(x, fis, type) ,**

(7)

где  $mf\_grades$  - вектор степеней принадлежности объекта, заданного вектором  $x$ , к классам решений.



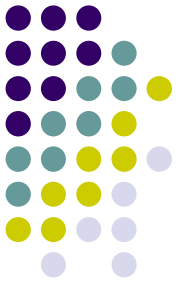
## Пример

Рассматривается объект с двумя входами  $x_1, x_2$  и одним выходом  $y$ , который может принимать одно из трех дискретных значений в соответствии с решающими правилами:

$$\left\{ \begin{array}{l} d_1, \text{ если } x_2 < \frac{14.6}{2.25 + (x_1 - 6.5)^2} \\ d_2, \text{ если } \frac{14.6}{2.25 + (x_1 - 6.5)^2} < x_2 < 2.2 \cdot \sqrt{x_1} + 3 \\ d_3, \text{ если } x_2 > 2.2 \cdot \sqrt{x_1} + 3 \end{array} \right. \quad (8)$$

Исходными данными для построения нечеткого классификатора является выборка данных, содержащая 80 пар "входы - выход". Обучающая выборка записана в файле [tr\\_set\\_class.dat](#).

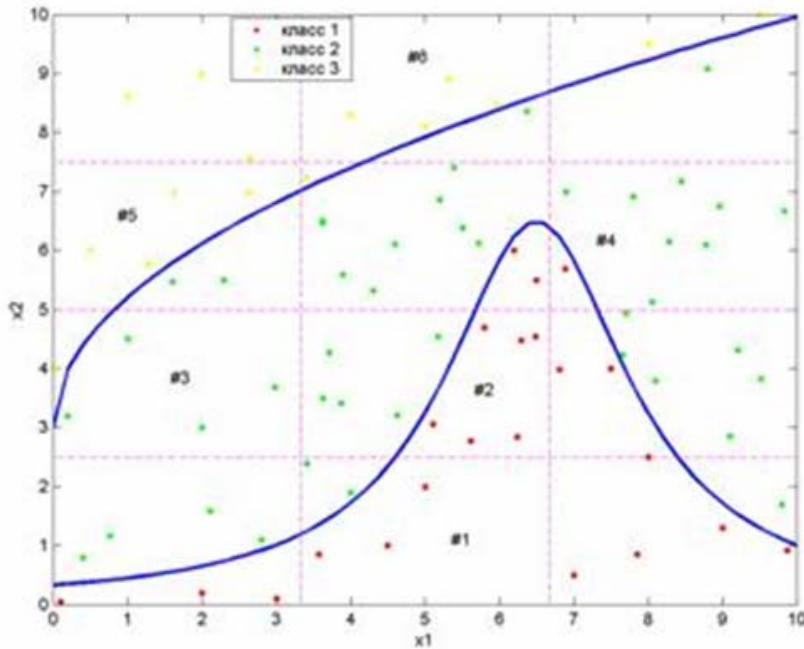




# Пример

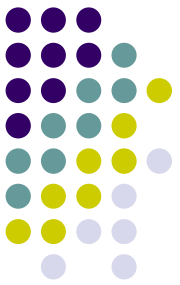
**Рис.3. Графическое изображение данных из выборки а также разделяющие кривые**

**Таблица 1. Нечеткая база знаний для классификации**



$x_1$	$x_2$	$y$	$w$ (до настройки)
Средний	Низкий	Класс 1	1
Средний	Ниже Среднего	Класс 1	1
Низкий	Ниже Среднего	Класс 2	1
Высокий	Выше Среднего	Класс 2	1
Низкий	Выше Среднего	Класс 3	1
Средний	Высокий	Класс 3	1

# Классификация объекта и результаты



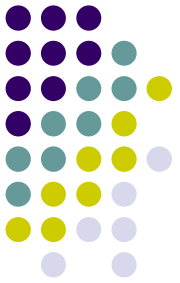
Вызов функции нечеткой классификации

```
>> x= [1.33 5.864];  
>> fis=readfis('class_source.fis');  
>> type='number';  
>> decision = fuz_classifer(x,fis, type)
```

decision =

3

# Классификация объекта и результаты



С помощью функции `evalfis` можно получить промежуточные результаты нечеткого логического вывода

```
>> [a, b, c, d] = evalfis(x, fis)

a =
    0.7298

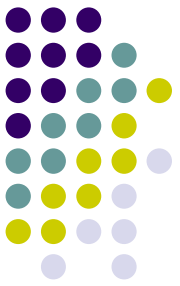
b =
    0.1857    0.0136
    0.1857    0.4481
    0.8016    0.4481
    0.0001    0.9220
    0.8016    0.9220
    0.1857    0.1179

c =
     0
     0
    0.5000
    0.5000
    1.0000
    1.0000

d =
     0.0136
     0.1857
     0.4481
     0.0001
     0.8016
     0.1179
```

# Классификация объекта и результаты

Вызов функции нечеткой классификации с двумя выходными переменными



```
>> [decision mf_grades] = fuz_classifer(x, fis, type)
```

```
decision =
```

```
3
```

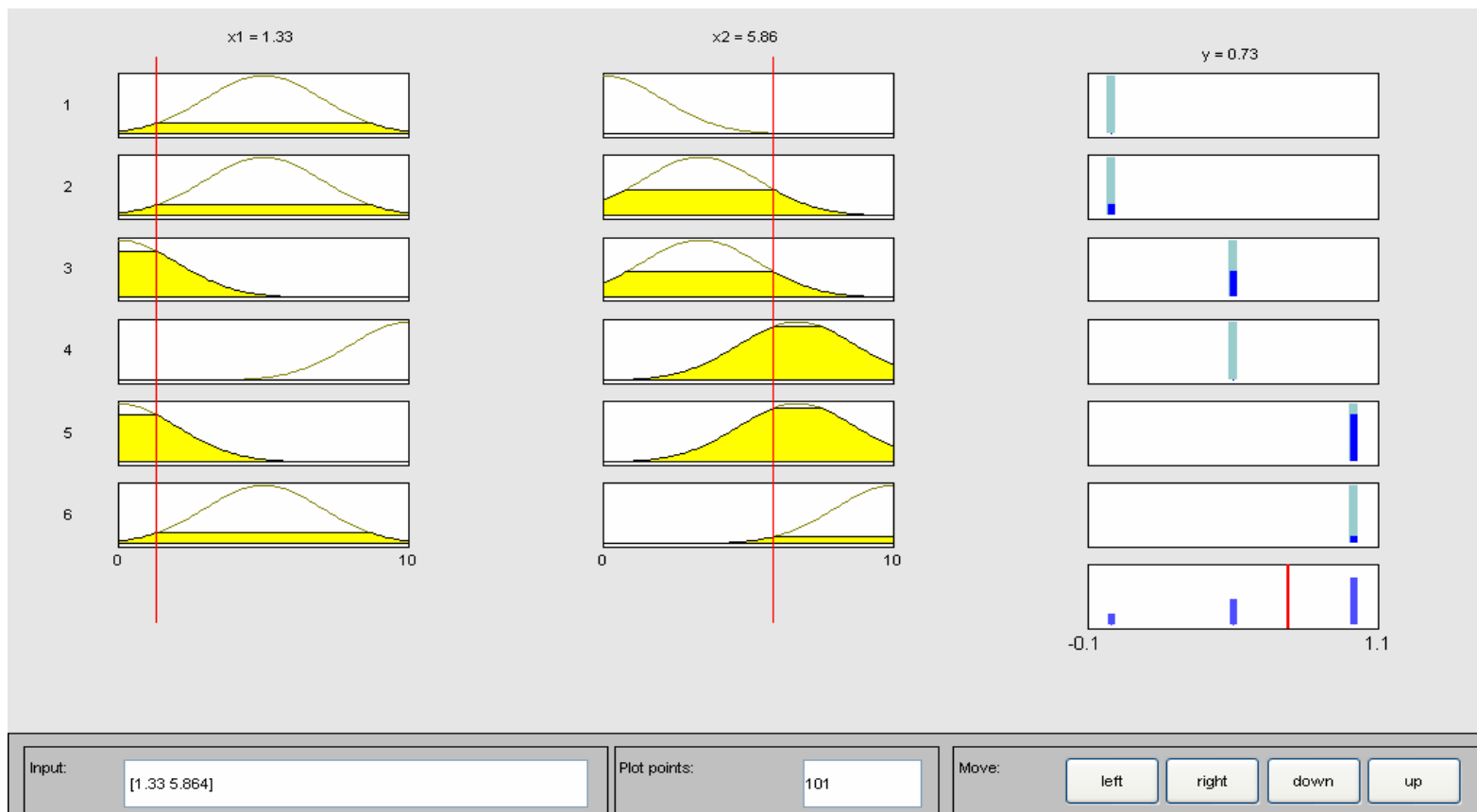
```
mf_grades =
```

```
0.1857 0.4481 0.8016
```

# Результаты нечеткого ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА



Рис.4. Правила нечеткого логического вывода



# Выводы

Классификатор на основе нечеткого логического вывода позволяет автоматизировать классификацию объектов по их нечетким параметрам. Такой классификатор можно применять в следующих областях:

1. Классификация измерительной информации, полученной в результате эксперимента.
2. Классификация компонентов информационных систем по заданным признакам.
3. Классификация объектов при аэрофотосъемках.

