

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт машиностроения, материалов и транспорта  
Высшая школа автоматизации и робототехники

## **ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №5**

**Разработка систем нечёткого вывода в режиме командной строки  
с использования пакета Fuzzy Logic Toolbox**  
по дисциплине «Нечёткие системы обработки информации  
в мехатронике и робототехнике»

Выполнил  
студент гр. 3341506/10401

Паньков И.С.

Проверил  
ассистент

Абросимов Э.А.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт-Петербург

2022

## Цель работы

Цель работы — приобрести навыки разработки систем нечёткого вывода в режиме командной строки среды MATLAB с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox.

## Задание

1 Ознакомиться с порядком разработки систем нечёткого вывода в режиме командной строки среды MATLAB по учебно-методическому пособию.

2 При помощи пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox разработать в режиме командной строки систему нечёткого вывода типа Мамдани (аналогичную той, которая была получена в лабораторной работе №1) для аппроксимации нелинейной зависимости, описываемой следующей функцией:

$$y = \sin^2(x_1 - 2x_2) \cdot e^{-|x_2|}, \quad x_1 \in [0; \pi], \quad x_2 \in [-1; 1]. \quad (1)$$

3 Для проверки идентичности исходной и вновь разработанной систем нечёткого вывода построить поверхности «входы – выход» данных систем. Также определить максимальное отклонение выходных сигналов вновь разработанной и исходной систем.

4 Сделать выводы из проделанной работы, в которых отразить:

- область возможного применения пакета Fuzzy Logic Toolbox в режиме командной строки для решения прикладных задач;
- сравнительную оценку трудозатрат при разработке систем нечёткого вывода с использованием пакета Fuzzy Logic Toolbox в интерактивном и командном режимах.

5 Подготовить отчёт по лабораторной работе.

## Ход работы

Исходная нелинейная зависимость (1) описывает поверхность, график которой представлен на рисунке 1.

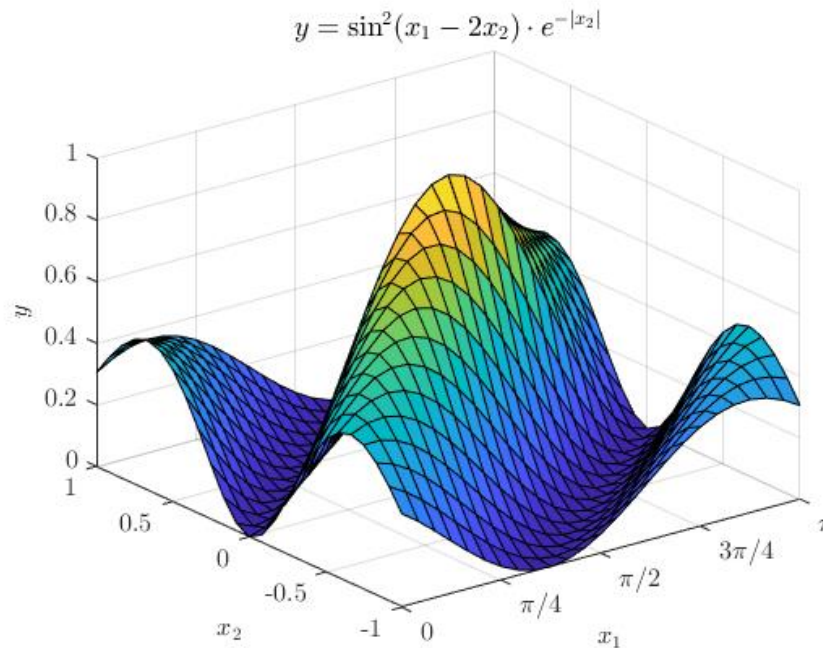


Рисунок 1 — Поверхность исходной нелинейной зависимости

Для аппроксимации зависимости ранее была разработана система нечёткого вывода типа Мамдани. Поскольку поверхность достаточно сложна для описания, было решено создавать систему сразу с пятью термами как входных, так и выходных переменных: negative-big, negative-middle, zero, positive-middle и positive-big. В результате исследования зависимости точности аппроксимации от типа функции принадлежности было решено использовать гауссовы функции принадлежности. Графики функций принадлежности термов входных и выходных переменных  $\mu(x_1)$ ,  $\mu(x_2)$  и  $\mu(y)$  представлен на рисунке 2.

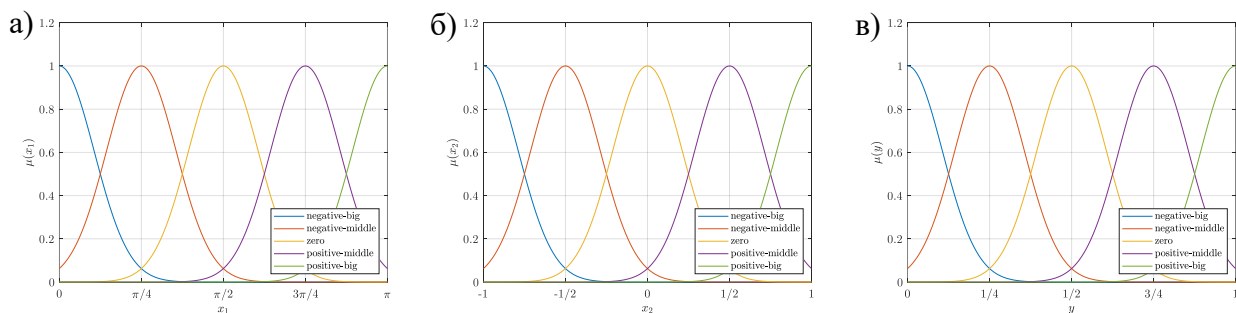


Рисунок 2 — Функции принадлежности термов входных и выходных переменных: а) —  $\mu(x_1)$ , б) —  $\mu(x_2)$ , в) —  $\mu(y)$

Для системы была определена следующая база правил нечётких продукций:

- 1 Если  $x_1 = \text{zero}$  и  $x_2 = \text{zero}$ , то  $y = \text{positive-big}$ ;
- 2 Если  $x_1 = \text{negative-middle}$  и  $x_2 = \text{negative-middle}$ , то  $y = \text{zero}$ ;
- 3 Если  $x_1 = \text{positive-middle}$  и  $x_2 = \text{positive-middle}$ , то  $y = \text{zero}$ ;
- 4 Если  $x_1 = \text{negative-big}$  и  $x_2 = \text{positive-big}$ , то  $y = \text{zero}$ ;
- 5 Если  $x_1 = \text{positive-big}$  и  $x_2 = \text{negative-big}$ , то  $y = \text{zero}$ ;
- 6 Если  $x_1 = \text{negative-big}$  и  $x_2 = \text{negative-big}$ , то  $y = \text{negative-middle}$ ;
- 7 Если  $x_1 = \text{positive-big}$  и  $x_2 = \text{positive-big}$ , то  $y = \text{negative-middle}$ ;
- 8 Если  $x_1 = \text{negative-middle}$  и  $x_2 = \text{positive-middle}$ , то  $y = \text{negative-big}$ ;
- 9 Если  $x_1 = \text{positive-middle}$  и  $x_2 = \text{negative-middle}$ , то  $y = \text{negative-big}$ ;
- 10 Если  $x_1 = \text{zero}$  и  $x_2 = \text{negative-big}$ , то  $y = \text{negative-big}$ ;
- 11 Если  $x_1 = \text{zero}$  и  $x_2 = \text{positive-big}$ , то  $y = \text{negative-big}$ ;
- 12 Если  $x_1 = \text{negative-big}$  и  $x_2 = \text{zero}$ , то  $y = \text{negative-big}$ ;
- 13 Если  $x_1 = \text{positive-big}$  и  $x_2 = \text{zero}$ , то  $y = \text{negative-big}$ .

В итоге была получена система нечёткого вывода для аппроксимации исходной зависимости (1) со среднеквадратичной ошибкой  $\text{RMSE} = 0,1396$ , поверхность «входы – выход» которой представлена на рисунке 3.

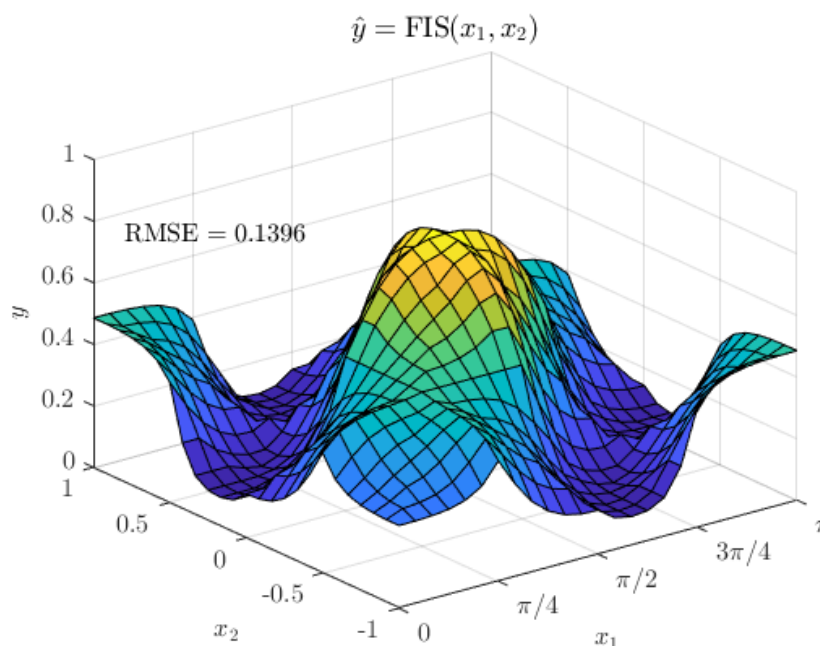


Рисунок 3 — Поверхность «входы – выход» системы нечёткого вывода

Создадим систему нечёткого вывода, аналогичную уже созданной, используя режим командной строки среды MATLAB. Скрипт на языке MATLAB для загрузки исходной системы нечёткого вывода, создания новой системы нечёткого вывода, а также тестирования и сравнения этих систем представлен в листинге 1.

Листинг 1 — Скрипт для загрузки исходной системы нечёткого вывода и создания новой системы нечёткого вывода, их тестирования и сравнения

```

001 clc; clear; close all;
002
003 n = 25;
004 x1min = 0;
005 x1max = pi;
006
007 x2min = -1;
008 x2max = 1;
009
010 ymin = 0;
011 ymax = 1;
012
013 x1 = linspace(x1min, x1max, n);
014 x2 = linspace(x2min, x2max, n);
015
016 x = reshape(cat(3, repmat(x1, length(x2), 1)', ...
017               repmat(x2, length(x1), 1))), [], 2, 1);
018
019 y = sin(x1 - 2 * x2').^2 .* exp(-abs(x2'));
020 print_surface_plot(x1, x2, y, 'Original Function', 'original_function.emf');
021
022 name = {'negative-big', 'negative-middle', 'zero', 'positive-middle', 'positive-big'};
023 count = length(name);
024
025 fis1 = readfis('..\model\mamdani_gaussmf_5in_gaussmf_5out.fis');
026 fis2 = mamfis('Name', 'mamdani_gaussmf_5in_gaussmf_5out_custom.fis');
027
028 input1 = fisvar([x1min, x1max], 'Name', 'x1');
029 dx1 = x1max - x1min;
030 for k = 1 : count
031     params = [dx1 / (2 * count), x1min + dx1 * (k - 1) / (count - 1)];
032     gaussmf = fismf('gaussmf', params, 'Name', name{k});
033     input1.membershipFunctions(k) = gaussmf;
034 end
035
036 input2 = fisvar([x2min, x2max], 'Name', 'x2');
037 dx2 = x2max - x2min;
038 for k = 1 : length(name)
039     params = [dx2 / (2 * count), x2min + dx2 * (k - 1) / (count - 1)];
040     gaussmf = fismf('gaussmf', params, 'Name', name{k});
041     input2.membershipFunctions(k) = gaussmf;
042 end
043
044 output = fisvar([ymin, ymax], 'Name', 'y');
045 dy = ymax - ymin;
046 for k = 1 : length(name)
047     params = [dy / (2 * count), ymin + dy * (k - 1) / (count - 1)];
048     gaussmf = fismf('gaussmf', params, 'Name', name{k});
049     output.membershipFunctions(k) = gaussmf;
050 end
051

```

Продолжение листинга 1

```

052 fis2.rules = [
053     fisrule('x1 == zero          & x2 == zero          => y = positive-big'    );
054     fisrule('x1 == negative-middle & x2 == negative-middle => y = zero'        );
055     fisrule('x1 == positive-middle & x2 == positive-middle => y = zero'        );
056     fisrule('x1 == negative-big    & x2 == positive-big    => y = zero'        );
057     fisrule('x1 == positive-big    & x2 == negative-big    => y = zero'        );
058     fisrule('x1 == negative-big    & x2 == negative-big    => y = negative-middle');
059     fisrule('x1 == positive-big    & x2 == positive-big    => y = negative-middle');
060     fisrule('x1 == negative-middle & x2 == positive-middle => y = negative-big'  );
061     fisrule('x1 == positive-middle & x2 == negative-middle => y = negative-big'  );
062     fisrule('x1 == zero          & x2 == negative-big    => y = negative-big'  );
063     fisrule('x1 == zero          & x2 == positive-big    => y = negative-big'  );
064     fisrule('x1 == negative-big    & x2 == zero          => y = negative-big'  );
065     fisrule('x1 == positive-big    & x2 == zero          => y = negative-big'  );
066 ];
067
068 y1 = reshape(evalfis(fis1, x), length(x1), length(x2));
069 rmse1 = sqrt(sum(sum((y - y1).^2)) / numel(y1));
070 print_surface_plot(x1, x2, y1, 'Default Mamdani Gauss MF Surface', ...
071     'mamdani_gauss_5in_gauss_5out_surface_default.emf', rmse1);
072
073 y2 = reshape(evalfis(fis2, x), length(x1), length(x2));
074 rmse2 = sqrt(sum(sum((y - y2).^2)) / numel(y2));
075 print_surface_plot(x1, x2, y2, 'Custom Mamdani Gauss MF Surface', ...
076     'mamdani_gauss_5in_gauss_5out_surface_custom.emf', rmse2);
077
078 writefis(fis2, strcat(' ../model/', fis2.name));
079 fprintf('dy_max = %.4g\n', max(max(abs(y2 - y1))));
080

```

Поверхности «входы – выход» исходной и вновь созданной систем нечёт-кого вывода представлены на рисунке 4.

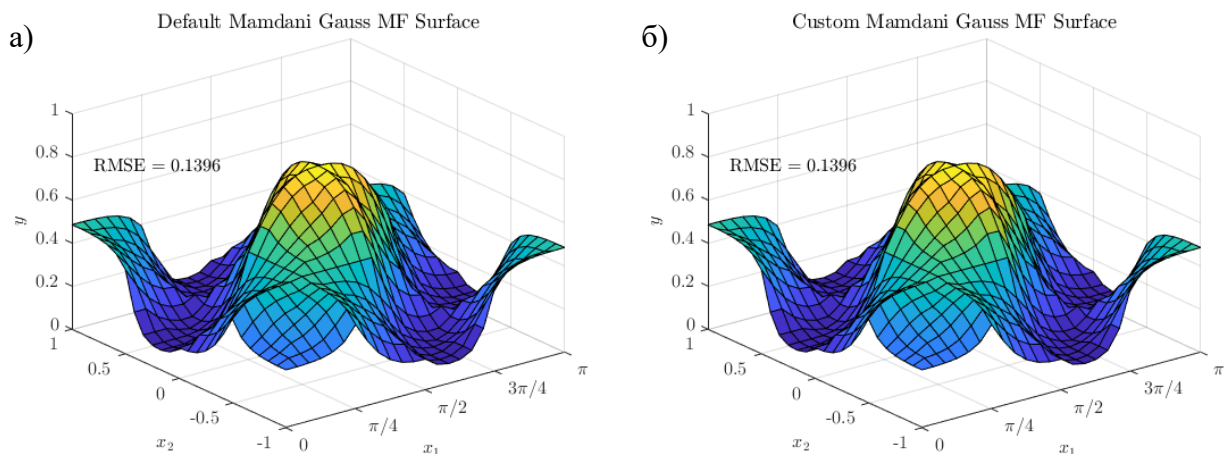


Рисунок 4 — Поверхности «входы – выход» систем нечёткого вывода:  
а) — исходная система, б) — вновь созданная система

Как видно по полученным поверхностям и среднеквадратичной ошибке аппроксимации, системы нечёткого вывода идентичны. При этом абсолютное отклонение между выходами систем составило  $\Delta y \approx 5,05 \cdot 10^{-15}$ , что сравнимо с погрешностью чисел с плавающей запятой двойной точности ( $\varepsilon \approx 2,22 \cdot 10^{-16}$ ).

## Вывод

Пакет Fuzzy Logic Toolbox в режиме командной строки среды MATLAB предоставляет абсолютно те же возможности по созданию систем нечёткого вывода, что и в интерактивном режиме. Пусть в режиме командной строки пользователь лишён инструментов для визуализации базы правил и зависимости между входами и выходами системы, ему остаётся доступен широкий выбор между свободными функциями и классами пакета расширения для создания новых систем и редактирования существующих.

Более того, путём написания скриптов пользователем могут быть нивелированы некоторые рутинные действия при создании систем нечёткого вывода, например добавление и/или изменение функций принадлежности термов входных и выходных переменных. При этом редактирование базы правил нечётких продукций и вовсе представляется более удобным именно из режима командной строки в сравнении с инструментами, доступными в интерактивном режиме.

Таким образом, вопрос удобства и оценки трудозатрат остаётся дискуссионным при сравнении режимов работы с пакетом Fuzzy Logic Toolbox. При этом возможен некоторый компромисс при разработке систем нечёткого вывода, когда «каркас» системы создаётся с помощью скрипта в режиме командной строки, а более тонкая настройка производится уже в интерактивном режиме.

23:39

17 ноября 2022 г.