

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по дисциплине
НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА И НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Уровень основной образовательной программы: **бакалавриат**

Направление подготовки: **080500.62 «Бизнес-информатика»**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **систем управления**

Кафедра: **Автоматизации обработки информации (АОИ)**

Курс **4** Семестр **8**

Учебный план набора 2015 года и последующих лет

Томск 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Функции принадлежности на основе экспертных оценок.....	4
Лабораторная работа № 2. Функции принадлежности и их реализация в программной среде Fuzzy Logic Toolbox.....	12
Лабораторная работа № 3. Нечеткая аппроксимирующая модель.....	15
Лабораторная работа № 4. Нейросетевая аппроксимирующая модель...	27
Лабораторная работа № 5. Система нечеткого вывода.....	33
Библиографический список рекомендуемой литературы	36

Введение

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов математических знаний в области нечёткой логики и нейронных сетей. Формирование навыков выполнения математических операций над нечеткими множествами и нечеткими отношениями, навыков к использованию нечёткой логики, применению нечетких высказываний и лингвистических переменных для моделирования сложных систем.

Лабораторные занятия по дисциплине «Нечеткая логика и нейронные сети» предусмотрены учебным планом подготовки студентов, обучающихся по направлению **080500.62** «Бизнес-информатика», Согласно тематическому плану на проведение практических занятий отведено 16 часов.

Целью проведения лабораторных занятий является приобретение студентами знаний и практических навыков на базе интеллектуальных информационных технологий нечеткой логики и нейронных сетей. В связи с этим необходимо дать студентам фундаментальное представление об основных понятиях и моделях нечеткой логики и нейронных сетей, а также научить применять эти знания на практике.

Особенностью выполнения работ является то, что студент приучается к самостоятельному принятию решений, развиваются его исследовательские способности, что особенно важно в динамично развивающемся мире. В настоящих методических указаниях рассматриваются нечеткие модели Мамдани и Сугено, нейронные сети прямой передачи сигнала, являющиеся типовыми технологиями нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

Лабораторная работа №1. Построение функций принадлежности на основе экспертной информации

Цель работы: Научиться формировать функции принадлежности, на основе экспертных оценок.

Теоретические сведения: в теории нечетких множеств большую роль играют функции принадлежности, описывающие степени принадлежности нечетких переменных нечетким множествам, в том числе и лингвистические термы. Задача построения функций принадлежности ставится следующим образом: даны два множества:

- множество термов $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$

- универсальное множество $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$.

Нечеткое множество \tilde{l}_j , представляющее лингвистический терм l_j , $j = \overline{1, m}$, на универсальном множестве U описывается в виде:

$$\tilde{l}_j = \left(\frac{\mu_{l_j}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{l_j}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{l_j}(u_n)}{u_n} \right)$$
. Необходимо определить степени

принадлежностей элементов множества U к элементам из множества L , т.е. найти $\mu_{l_j}(u_i)$ для всех $j = \overline{1, m}$ и $i = \overline{1, n}$.

Существует свыше десятка типовых форм кривых для задания функций принадлежности. Наибольшее распространение получили: треугольная, трапецеидальная и гауссова функции принадлежности.

Треугольная функция принадлежности определяется тройкой чисел (a, b, c) , и ее значение в точке x вычисляется согласно выражению:

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-c}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

При $(b-a)=(c-b)$ имеем случай симметричной треугольной функции принадлежности, которая может быть однозначно задана двумя параметрами из тройки (a,b,c) .

Аналогично для задания трапецеидальной функции принадлежности необходима четверка чисел (a,b,c,d) :

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

При $(b-a)=(d-c)$ трапецеидальная функция принадлежности принимает симметричный вид.

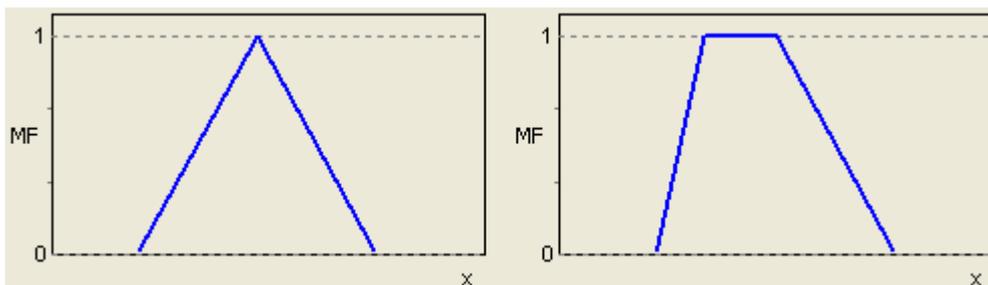


Рисунок 1. Типовые кусочно-линейные функции принадлежности.

Функция принадлежности гауссова типа описывается формулой

$$MF(x) = \exp \left[- \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2 \right]$$

и оперирует двумя параметрами. Параметр μ обозначает центр нечеткого множества, а параметр σ отвечает за крутизну функции.

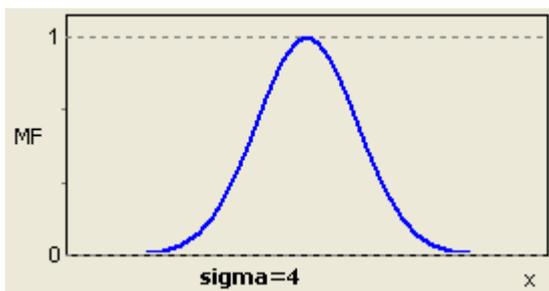


Рисунок 2. Гауссова функция принадлежности.

Совокупность функций принадлежности для каждого термина из базового терм-множества T обычно изображаются вместе на одном графике. На рисунке 3 приведен пример описанной выше лингвистической переменной неточного понятия 'Возраст человека'. Так, для человека 48 лет степень принадлежности к множеству 'Молодой' равна 0, 'Средний' – 0,47, 'Выше среднего' – 0,20.

Рисунок 3. Описание лингвистической переменной 'Цена акции'.

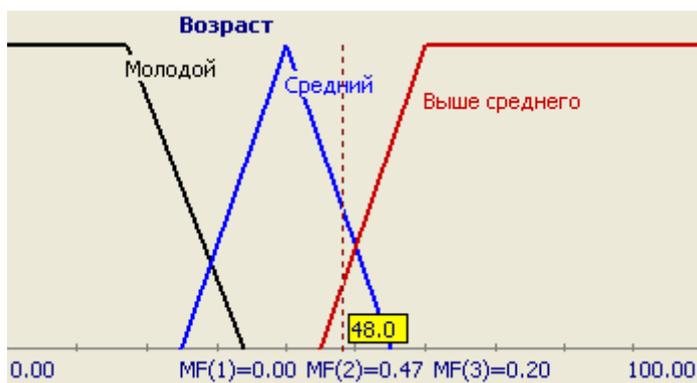


Рисунок 3. Описание лингвистической переменной 'Возраст'.

Количество термов в лингвистической переменной лежит в пределах от 3 до 7.

Статистическая обработка экспертной информации

Каждый эксперт заполняет таблицу, в которой указывает свое мнение о наличии у элементов $u_i, i = \overline{1, n}$ свойств нечеткого множества $\tilde{l}_j (j = \overline{1, m})$.

Таблица имеет следующий вид

	u_1	u_2	...	u_n
\tilde{l}_1				
\tilde{l}_2				
...				
\tilde{l}_m				

Введем следующие обозначения: K - количество экспертов; $b_{j,i}^k$ - мнение k -го эксперта о наличии у элемента u_i свойств нечеткого множества $\tilde{l}_j, k = \overline{1, K}, j = \overline{1, m}$ и $i = \overline{1, n}$. Будем считать, что экспертные оценки бинарные, т.е.: $b_{j,i}^k \in \{0,1\}$, где 1 (0) указывает на наличие (отсутствие) у элемента u_i свойств нечеткого множества \tilde{l}_j . По результатам опроса экспертов, степени принадлежности нечеткому множеству $\tilde{l}_j (j = \overline{1, m})$ рассчитываются следующим образом:

$$\mu_{\tilde{l}_j}(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{j,i}^k, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Построение функции принадлежности на основе экспертной информации

	высокий	0	1	0	0	1	1	1	0
Эксперт 5	низкий	1	0	1	1	0	1	0	0
	средний	1	1	0	1	1	0	1	0
	высокий	0	0	1	0	1	0	0	1

Результаты обработки экспертных мнений представлены в таблице 2.2. Числа над пунктирной линией - это количество голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества. Числа под пунктирной линией - степени принадлежности, рассчитанные по формуле (2.2). Графики функций принадлежности показаны на рис. 4

Таблица 2.2

Результат обработки экспертных мнений для X_1

	[160, 165)	[165, 170)	[170, 175)	[175, 180)	[180, 185)	[185, 190)	[190, 195)	[195, 200)
низкий	3	1	3	2	1	4	1	0
$\mu_j(U_j)$	0,6	0,2	0,6	0,4	0,2	0,8	0,2	0
средний	3	3	1	2	1	3	2	2
$\mu_j(U_j)$	0,6	0,6	0,2	0,4	0,2	0,6	0,4	0,4
высокий	2	2	2	1	3	1	2	3
$\mu_j(U_j)$	0,4	0,4	0,4	0,2	0,6	0,2	0,4	0,6

Таким образом, на основе экспертных оценок определены функции принадлежности.

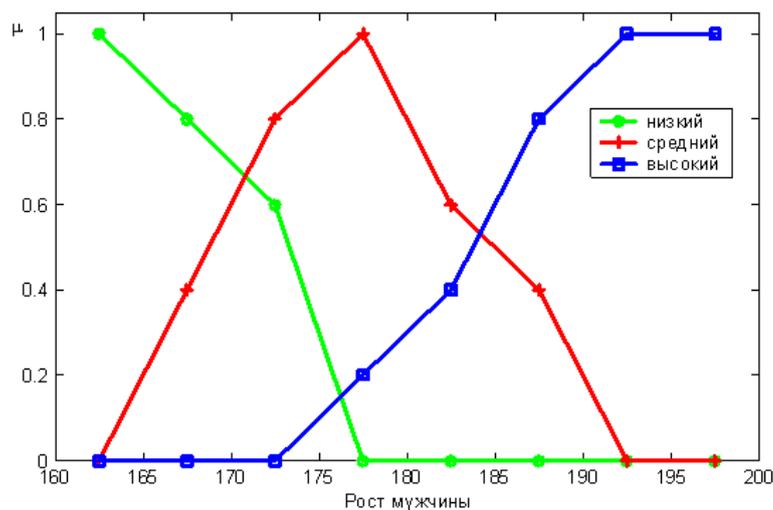


Рисунок 4 - Функции принадлежности нечетких множеств из примера

Ход работы:

Задание. Сформировать функции принадлежности оценок предметной области погода в регионе на основе экспертных оценок.

1. Выбрать регион для экспертной оценки
2. Получить данных по погоде в регионе из интернета для трех нечетких множеств (температура, количество осадков, скорость ветра) за любой год.
3. Разделить шкалы по нечетким переменным на три группы
 - большая (температура, осадки, скорость ветра)
 - средняя (температура, осадки, скорость ветра)
 - маленькая (температура, осадки, скорость ветра)
4. Сформировать группу экспертов, по своему усмотрению, и заполнить таблицу в бинарных значениях, см пример 1.
5. Заполнить таблицу 2 с данными по обработки мнений экспертов

6. Сформировать функции принадлежности
7. Поскольку функции принадлежности имеют негладкий вид, аппроксимировать полученные функции принадлежности в MATHCAD.
8. Выбрать наиболее подходящие функции принадлежности из числа известных.

Вопросы

1. Дайте определение нечеткой переменной
2. Что такое нечеткое множество и его отличие от четкого множества
3. Какие существуют формы записи нечеткого множества
4. Как представляется непрерывное нечеткое множество
5. Что такое функция принадлежности
6. Назовите широко используемые функции принадлежности.

Содержание отчета

1. Краткое описание нечетких множеств и функций принадлежности
2. Постановка задачи на исследования и формирование функций принадлежности
3. данные по температуре, количеству осадков и скорости ветра в регионе
4. Таблица 1 с мнениями экспертов
5. Таблица 2 с данными по обработке мнений экспертов
6. Полученные функции принадлежности
7. Наиболее близкие функции принадлежности с приведением их формул.
8. Выводы

9. Ответы на вопросы

Лабораторная работа №2. Функции принадлежности и их реализация в программной среде Fuzzy Logic Toolbox

Цель работы: ознакомление со способами и средствами описания нечётких множеств и продукций в системе нечёткого вывода в интерактивном режиме использования графических средств пакета **Fuzzy Logic Toolbox**.

1. Общие сведения о пакете Fuzzy Logic Toolbox

Для рассмотрения результатов разработки и функционирования систем нечёткой логики будем использовать графические средства пакета **Fuzzy Logic Toolbox**. Эти же средства используются и при разработке систем нечёткого вывода как графический объектно-ориентированный язык автоматического программирования.

В состав этих средств входят:

— редактор систем нечёткого вывода **FIS Editor (FIS)**;

— редактор функций принадлежности систем нечёткого вывода **Membership Function Editor (MFE)**;

— редактор правил систем нечёткого вывода **Rule Editor**;

— программа просмотра правил системы нечёткого вывода **Rule Viewer**;

— программа просмотра поверхности нечёткого вывода **Sur-face Viewer**.

Для описания нечётких высказываний используются нечёткие лингвистические переменные (ЛП).

ЛП — это именованная переменная, которая принимает свои значения из множества лингвистических термов, т.е. символьных величин.

Для нечёткой ЛП терм-множество задаётся как нечёткое множество. Этот процесс называется фаззификацией.

Фаззификация является одной из проблемных задач описания нечёткого вывода и отражает индивидуальные эмпирические знания автора.

Нечёткие высказывания в условной части нечёткой продукции могут быть составными, соединёнными связками “И” и/или “ИЛИ”. Эти связки при исчислении высказываний реализуются логическими или арифметическими операциями пересечения или объединения, соответственно. При получении результата по каждому правилу необходимо дать оценку степени его истинности. Эта оценка зависит от степени истинности высказываний условной части правила, степени истинности отношения, положенного в основу правила, между исходными утверждениями (посылкой) и заключением, т.е. степени истинности импликации, и степени истинности высказывания относительно значения из терм-множества возможных результатов, приведенного в правиле. Получение оценки степени истинности заключения, полученного по правилу, называют активизацией. В случае необходимости получения чёткого количественного значения результата оно может быть получено на основании функции принадлежности терм-множества результата различными способами по алгоритмам, названным по именам их авторов (Мамдани, Сугено, Цукамото и т.д.), что определяет тип системы нечёткого вывода. Эта операция называется дефаззификацией.

2. Редактор функций принадлежности (MFE)

Редактор функций принадлежности в графическом режиме обеспечивает задание и изменение функции принадлежности любых термов ЛП СНВ.

Для фаззификации лингвистической переменной СНВ следует выделить ее изображение – именованный прямоугольник в левой верхней части окна редактора (см. рис. 1).



Рис. 1. Окно редактора Membership Function Editor

В окне редактора выводятся графики функций принадлежности для всех значений выделенной ЛП (по умолчанию для трёх значений).

Для описания функции принадлежности каждого значения ЛП используются три поля: **Name**, **Type** и **Params**. Описываемая функция выделяется щелчком по её графику. В поле **Name** устанавливается значение ЛП. В поле **Type**, выбором элемента меню, устанавливается имя нужной функции принадлежности (одной из 11-ти встроенных). В поле ввода **Params** указываются необходимые параметры функции принадлежности, которые определяют положение ее модальных значений на числовой шкале, диапазон изменения которой указывается в полях ввода **Range** и **Display range**.

Эти операции выполняются над всеми значениями из терм-множеств лингвистических переменных СНВ.

Добавление нового значения ЛП со встроенной функцией принадлежности производится по команде основного меню **Edit > Add MF**.

Удаление ненужного значения ЛП производится нажатием клавиши **Delete**, после выделения графика функции принадлежности этого значения.

Варианты заданий на лабораторную работу

1. Построить треугольную и трапециевидную функцию принадлежности.

2. Построить простую и двухстороннюю функцию принадлежности Гаусса, образованную с помощью различных функций распределения.
3. Построить функцию принадлежности «обобщенный колокол», которая позволяет представлять нечеткие субъективные предпочтения.
4. Построить набор полиномиальных функций принадлежности (Z -, P - и S -функций).

4. Содержание отчета

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Задание на лабораторную работу
4. Результаты выполнения задания
5. Ответы на вопросы
6. Выводы по лабораторной работе.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое нечеткое множество и каково его основное отличие от обычного (четкого) множества?
2. Что такое функция принадлежности?
3. Какие конъюнктивные и дизъюнктивные операторы вы знаете?
4. Каким образом представляется нечеткое множество
5. Как формируется функция принадлежности методом парных сравнений

Лабораторная работа №3. Построение нечеткой аппроксимирующей модели.

Цель работы: изучение основных функций пакета Fuzzy Logic Toolbox программной среды MatLab, а также приобретение навыков построения нечеткой аппроксимирующей системы.

Теоретическая часть. Назначение и возможности пакета Fuzzy Logic Toolbox

Пакет Fuzzy Logic Toolbox (пакет нечеткой логики) – это совокупность прикладных программ, относящихся к теории *размытых* или *нечетких* множеств и позволяющих конструировать так называемые нечеткие экспертные и/или управляющие системы.

Основные возможности пакета:

- построение систем нечеткого вывода (регуляторов, аппроксиматоров зависимостей);
- построение адаптивных нечетких систем (гибридных нейронных сетей);
- интерактивное динамическое моделирование в Simulink. Пакет позволяет работу:
 - в режиме графического интерфейса;
 - в режиме командной строки;
 - с использованием блоков и примеров пакета Simulink.

Графический интерфейс Fuzzy Logic Toolbox

Состав графического интерфейса. В состав программных средств Fuzzy Logic Toolbox входят следующие основные программы, позволяющие работать в режиме графического интерфейса:

- редактор нечеткой системы вывода Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor или FIS-редактор) вместе со вспомогательными программами – редактором функций принадлежности (Membership Function Editor), редактором правил (Rule Editor), просмотрщиком правил (Rule Viewer) и просмотрщиком поверхности отклика (Surface Viewer);
- редактор гибридных систем (ANFIS Editor, ANFIS-редактор);

- программа нахождения центров кластеров (программа Clustering – кластеризация).

Набор данных программ предоставляет пользователю максимальные удобства для создания, редактирования и использования различных систем нечеткого вывода.

Пример. Построение нечеткой аппроксимирующей системы.

Командой (функцией) **Fuzzy** из режима командной строки запускается основная интерфейсная программа пакета Fuzzy Logic – редактор нечеткой системы вывода (Fuzzy Inference System Editor, FIS Editor, FIS-редактор).

Вид открывающегося при этом окна приведен на рис. 1.

Главное меню редактора содержит позиции:

File – работа с файлами моделей (их создание, сохранение, считывание и печать);

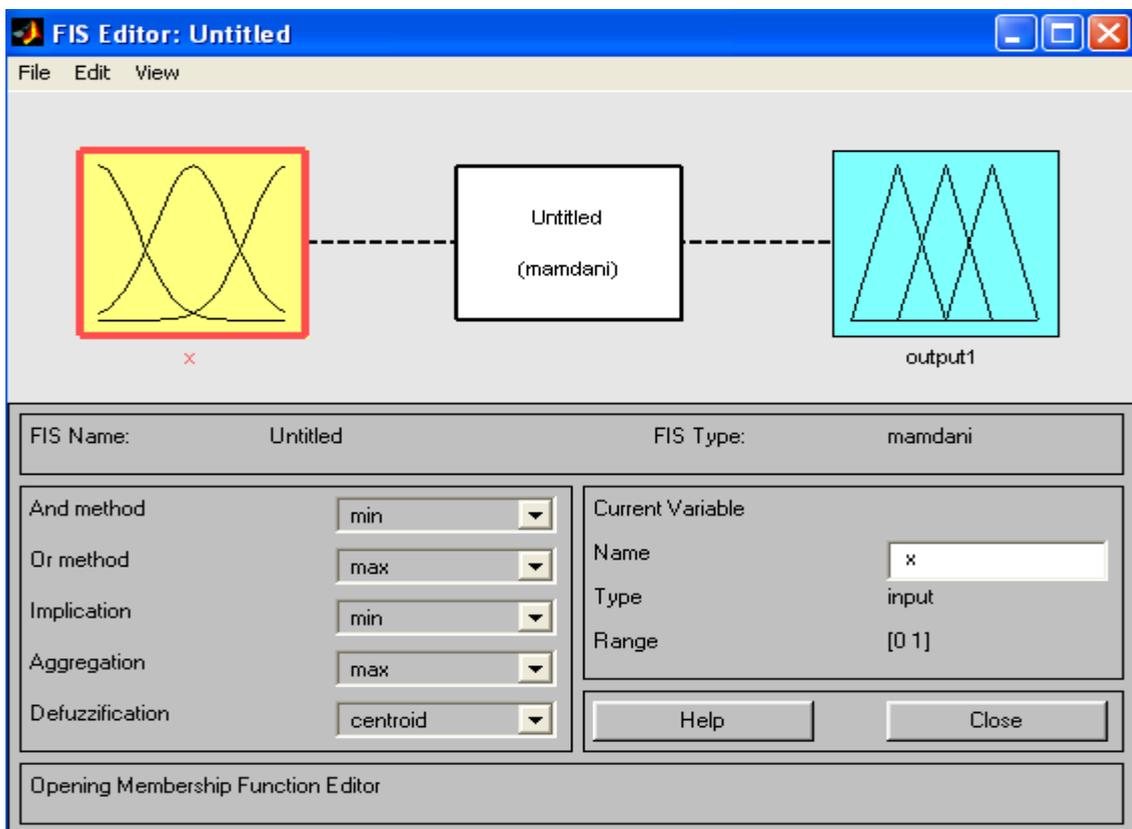


Рис. 1. Вид окна Fis Editor

Edit – операции редактирования (добавление и исключение входных и выходных переменных);

View – переход к дополнительному инструментарию.

Нужно разработать нечеткую систему, отображающую зависимость между переменными x и y , заданную с помощью табл.1, представленные в таблице данные отражают зависимость $y = x^2$.

Таблица 1. Значения x и y

x	-1	- 0.6	0	0.4	1
y	1	0.36	0	0.16	1

Требуемые действия отобразим следующими пунктами.

1. В позиции меню File выбираем опцию New Sugeno FIS (новая система типа Sugeno), при этом в блоке, отображаемом белым квадратом, в верхней части окна редактора появится надпись Untitled2 (sugeno).

2. Щелкнем левой кнопкой мыши по блоку, озаглавленному input1 (вход 1). Затем в правой части редактора в поле, озаглавленном Name (Имя), вместо input1 введем обозначение нашего аргумента, т.е. x . Обратим внимание, что если теперь сделать где-нибудь (вне блоков редактора) однократный щелчок мыши, то имя отмеченного блока изменится на x ; то же достигается нажатием после ввода клавиши Enter.

3. Дважды щелкнем по этому блоку. Перед нами откроется окно редактора функций принадлежности – Membership Function Editor (см. рис. 2). Войдем в позицию меню Edit данного редактора и выберем в нем опцию Add MFs (Add Membership Funcions – Добавить функций принадлежности). При этом появится диалоговое окно (рис. 3), позволяющее задать тип (MF type) и количество (Number of MFs) функций принадлежности (в данном случае все относится к входному сигналу, т. е. к переменной x). Выберем

гауссовы функции принадлежности (gaussmf), а их количество зададим равным пяти – по числу значений аргумента в табл. 1. Подтвердим ввод информации нажатием кнопки ОК, после чего произойдет возврат к окну редактора функций принадлежности.

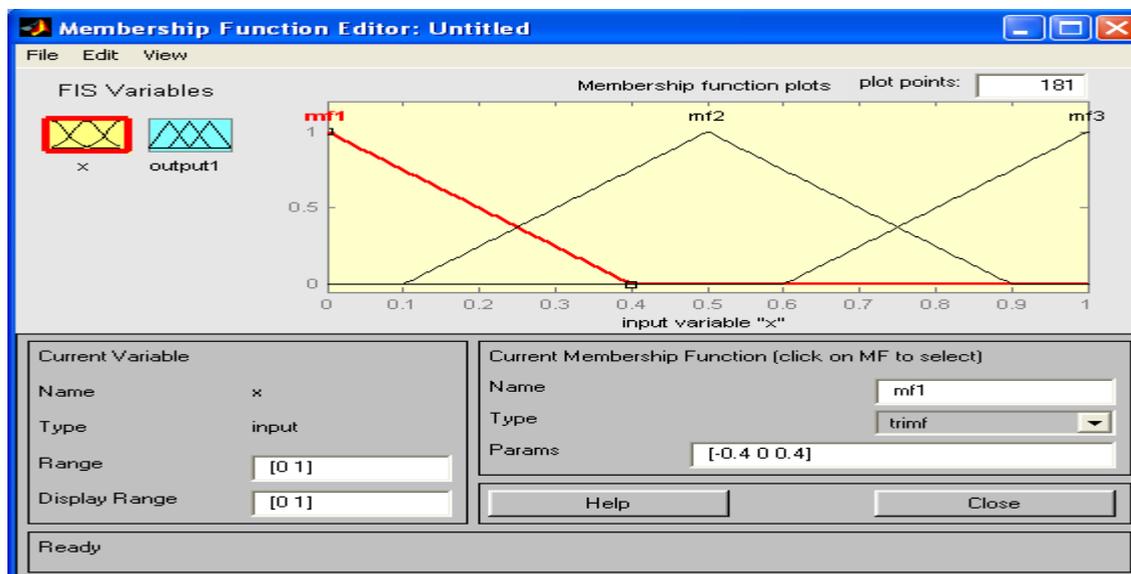


Рис. 2. Окно редактора функций принадлежности

4. В поле Range (Диапазон) установим диапазон изменения x от -1 до $+1$, т.е. диапазон, соответствующий табл. 1. Щелкнем затем левой кнопкой мыши где-нибудь в поле редактора (или нажмем клавишу ввода Enter). Обратим внимание, что после этого произойдет соответствующее изменение диапазона в поле Display Range (Диапазон дисплея).

5. Обратимся к графикам заданных нами функций принадлежности, изображенным в верхней части окна редактора функций принадлежности. Заметим, что для успешного решения поставленной задачи необходимо, чтобы ординаты максимумов этих функций совпадали с заданными значениями аргумента x . Для левой, центральной и правой функций такое условие выполнено, но две другие необходимо «подвинуть» вдоль оси абсцисс. «Передвижка» делается весьма просто: подводим курсор к нужной кривой и щелкаем левой кнопкой мыши. Кривая выбирается, окрашиваясь в красный цвет, после чего с помощью курсора ее и можно подвинуть в нужную сторону (более точную установку можно провести, изменяя

числовые значения в поле Params (Параметры) – в данном случае каждой функции принадлежности соответствуют два параметра, при этом первый определяет размах кривой, а второй – положение ее центра). Для выбранной кривой, кроме этого, в поле Name можно изменять имя (завершая ввод каждого имени нажатием клавиши Enter).

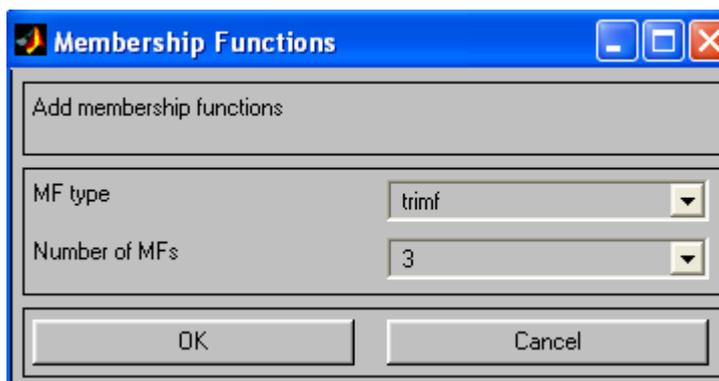


Рис. 3. Диалоговое окно задания типа и количества функций принадлежности

Продедаем требуемые перемещения кривых и зададим всем пяти кривым новые имена, например:

- самой левой – bn,
- следующей – n,
- центральной – z,
- следующей за ней справа – p,
- самой правой – br.

Нажмем кнопку Close и выйдем из редактора функций принадлежности, возвратившись при этом в окно редактора нечеткой системы (FIS Editor).

6. Сделаем однократный щелчок левой кнопкой мыши по голубому квадрату (блоку), озаглавленному output1 (выход 1). В окошке Name заменим имя output1 на y (как в пункте 2).

7. Дважды щелкнем по отмеченному блоку и перейдем к программе – редактору функций принадлежности. В позиции меню Edit выберем опцию Add MFs. Появляющееся диалоговое окно вида рис. 3 позволяет задать теперь в качестве функций принадлежности только линейные (linear) или постоянные (constant) – в зависимости от того, какой алгоритм Sugeno (1-го или 0-го порядка) мы выбираем. Если в вашем компьютере установлена версия, в которой нет данных функций принадлежности, то можно оставить по умолчанию – trimf. Это, конечно, повлияет на результат, поэтому можно поэкспериментировать, изменяя тип функций принадлежности.

В рассматриваемой задаче необходимо выбрать постоянные функции принадлежности с общим числом 4 (по числу различных значений y в табл. 1). Подтвердим введенные данные нажатием кнопки ОК, после чего произойдет возврат в окно редактора функций принадлежности.

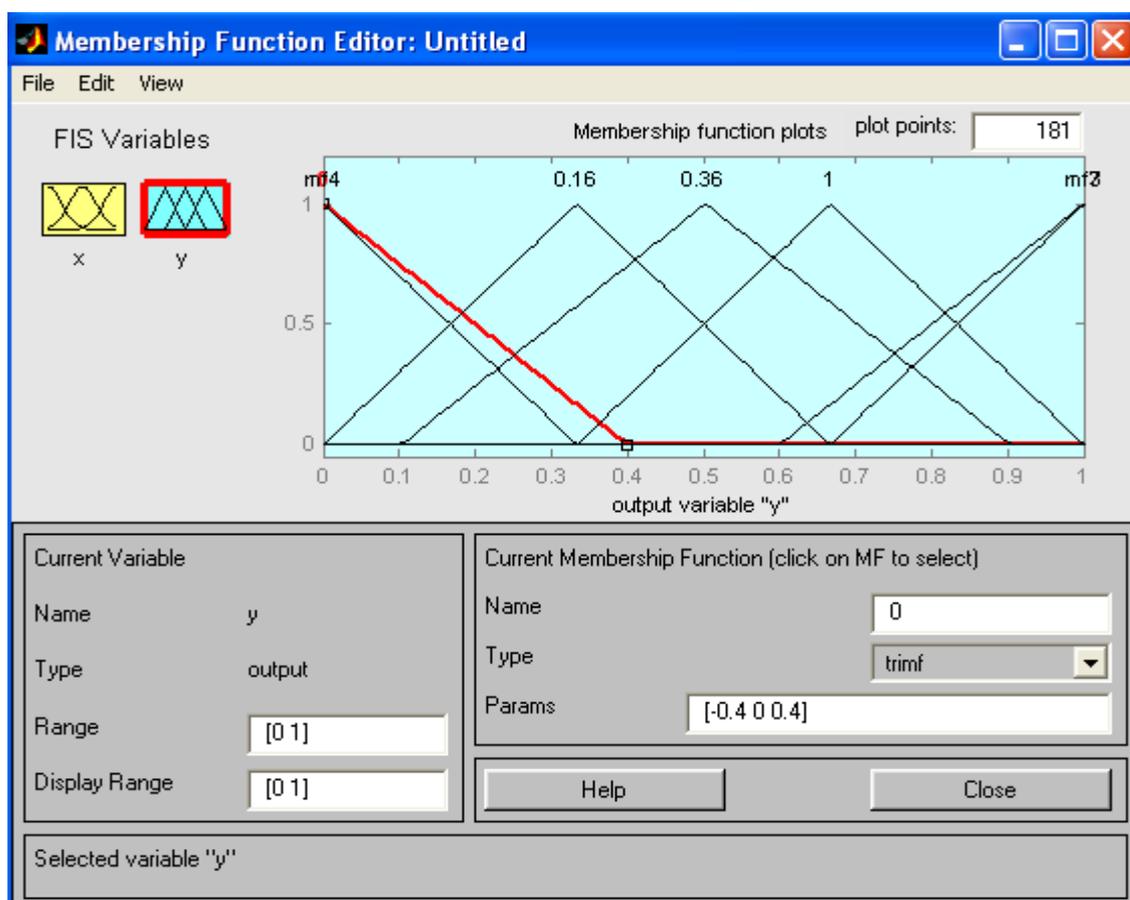


Рис. 4. Параметры функций принадлежности переменной y .

8. Обратим внимание, что здесь диапазон (Range) изменения, устанавливаемый по умолчанию – $[0, 1]$, менять не нужно. Изменим лишь имена функций принадлежности (их графики при использовании алгоритма Sugeno для выходных переменных не приводятся), например, задав их как соответствующие числовые значения y , т.е. $0, 0.16, 0.36, 1$; одновременно эти же числовые значение введем в поле Params (рис. 4). Затем закроем окно нажатием кнопки Close и вернемся в окно FIS-редактора.

9. Дважды щелкнем левой кнопкой мыши по среднему (белому) блоку, при этом раскроется окно еще одной программы – редактора правил (Rule Editor). Введем соответствующие правила. При вводе каждого правила необходимо обозначить соответствие между каждой функцией принадлежности аргумента x и числовым значением y . Кривая, обозначенная нами bn , соответствует $x = -1$, т.е. $y = 1$. Выберем, поэтому в левом поле (с заголовком x is bn), а в правом 1 и нажмем кнопку Add rule (Добавить правило). Введенное правило появится в окне правил и будет представлять собой запись:

$$1. \text{ If } (x \text{ is } bn) \text{ then } (y \text{ is } 1) \quad (1).$$

Аналогично поступим для всех других значений x , в результате чего сформируется набор из 5 правил (см. рис. 5). Закроем окно редактора правил и возвратимся в окно FIS-редактора. Построение системы закончено и можно начать эксперименты по ее исследованию. Заметим, что большинство опций выбиралось нами по умолчанию.

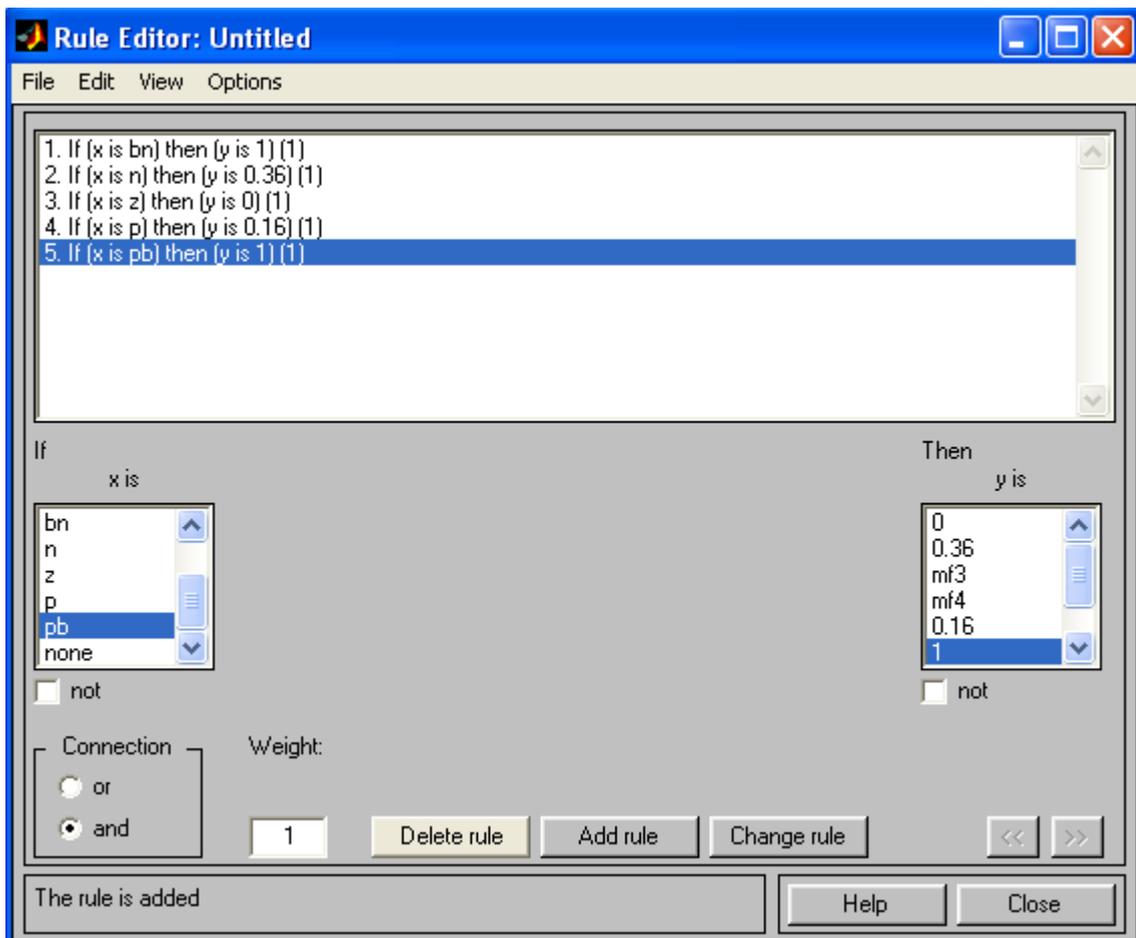


Рис. 5. Окно редактора правил.

10. Предварительно сохраним на диске (используя пункты меню File/Save to disk as...) созданную систему под каким-либо именем, например, Proba.

11. Выберем позицию меню View. Как видно из выпадающего при этом подменю, с помощью пунктов Edit membership functions и Edit rules можно совершить переход к двум выше рассмотренным программам – редакторам функций принадлежности и правил (то же можно сделать и нажатием клавиш Ctrl+2 или Ctrl+3). Но сейчас нас будут интересовать два других пункта – View rules (Просмотр правил) и View surface (Просмотр поверхности). Выберем пункт View rules, при этом откроется окно (см. рис. 6) еще одной программы – просмотра правил (Rule Viewer).

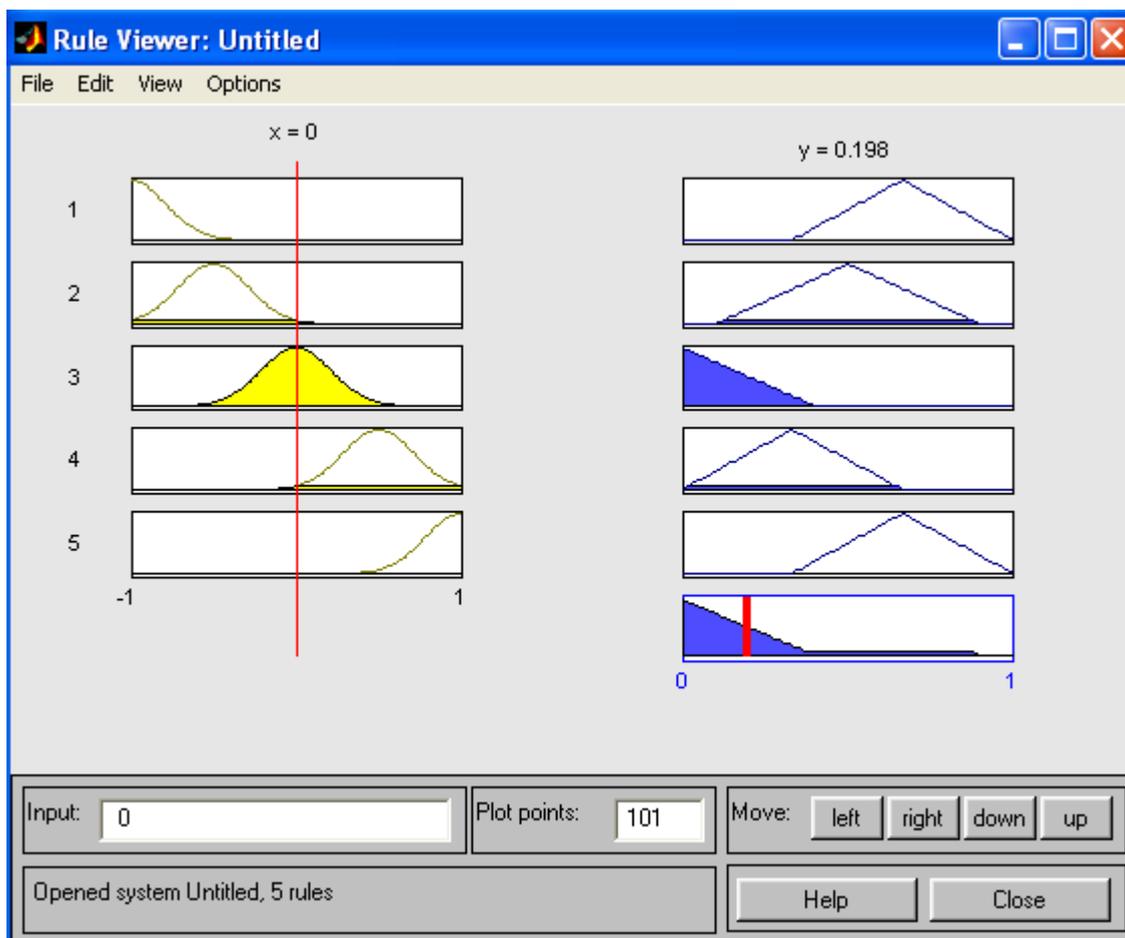


Рис. 6. Окно просмотра правил.

12. В правой части окна в графической форме представлены функции принадлежности аргумента $ж$, в левой – переменной выхода $у$ с пояснением механизма принятия решения. Красная вертикальная черта, пересекающая графики в правой части окна, которую можно перемещать с помощью курсора, позволяет изменять значения переменной входа (это же можно делать, задавая числовые значения в поле Input (Вход)), при этом соответственно изменяются значения $у$ в правой верхней части окна. Зададим, например, $x = 0.5$ в поле Input и нажмем затем клавишу ввода (Enter). Значение $у$ сразу изменится и станет равным 0.202. Таким образом, с помощью построенной модели и окна просмотра правил можно решать задачу интерполяции, т.е. задачу, решение которой и требовалось найти.

Изменение аргумента путем перемещения красной вертикальной линии очень наглядно демонстрирует, как система определяет значения выхода.

13. Закроем окно просмотра правил и выбором пункта меню View/View surface перейдем к окну просмотра поверхности отклика (выхода), в нашем случае – к просмотру кривой $y(x)$ (см. рис. 7). Видно, что смоделированное системой по таблице данных (табл. 1) отображение не очень-то напоминает функцию x^2 . Ну что ж, ничего удивительного в этом нет: число экспериментальных точек невелико, да и параметры функций принадлежности (для x) выбраны, скорее всего, неоптимальным образом. Ниже мы рассмотрим возможность улучшения качества подобной модели.

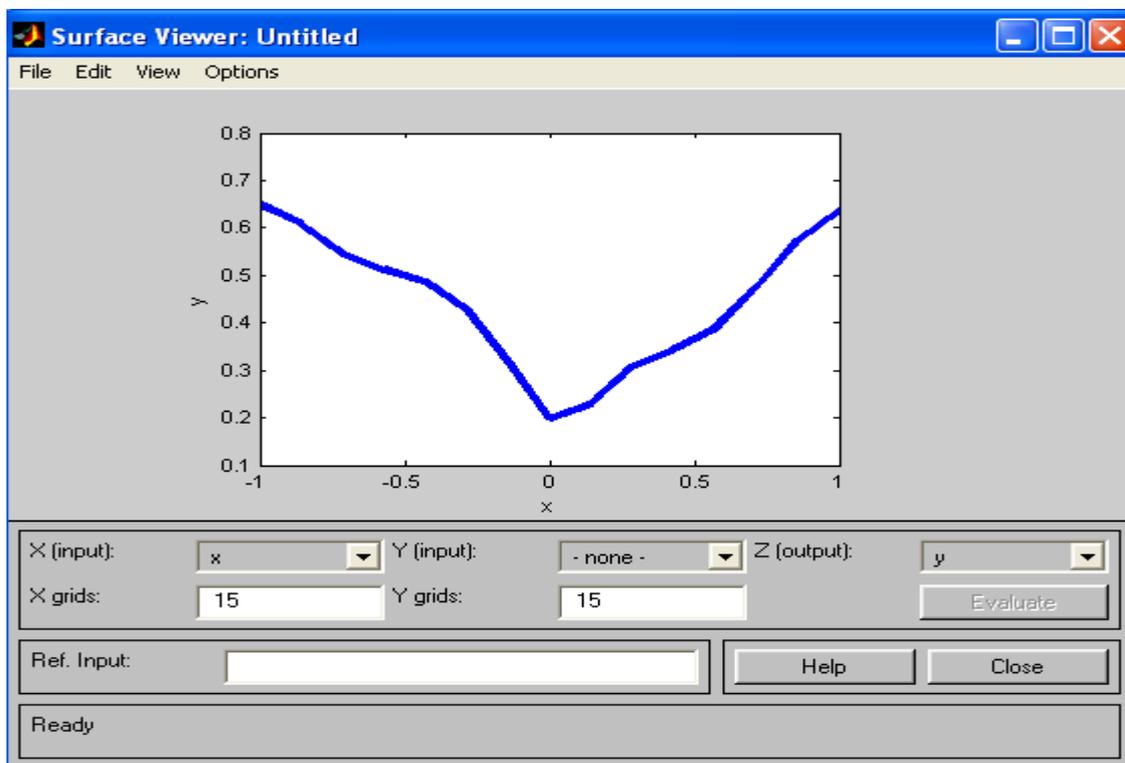


Рис. 7. Окно просмотра поверхности отклика.

С помощью вышеуказанных программ-редакторов на любом этапе проектирования нечеткой модели в нее можно внести необходимые коррективы, вплоть до задания какой-либо особенной пользовательской функции принадлежности. Из опций, устанавливаемых в FIS-редакторе по умолчанию при использовании алгоритма Sugeno, можно отметить:

- логический вывод организуется с помощью операции умножения (prod);
- композиция – с помощью операции логической суммы (вероятностного ИЛИ, probor);
- приведение к четкости – дискретным вариантом центроидного метода (взвешенным средним, wtaver). Используя соответствующие поля в левой нижней части окна FIS-редактора, данные опции можно, при желании, изменить.

Задание на лабораторную работу

Разработать нечеткую систему, отображающую зависимость между переменными x и y , заданную с помощью табл. 2. По результатам работы определите тип кривой.

Таблица 2

Вариант							
1	x	-1	-0.5	0	0.2	1	
	y	1	0.25	0	0.4	1	
2	x	-1	-0.6	0.2	0.4	1	
	y	-1	-1.67	5	2.5	1	
3	x	-1	-0.5	0	0.3	1	
	y	-1	-0.13	0	0.27	1	
4	x	-1	-0.6	0	0.3	1	
	y	0	0.8	1	0.95	0	
5	x	-2	-0.35	0	0.56	2	
	y	1	0.56	0.1	0.3	1	
6	x	-1	-0.5	0.2	0.3	1	
	y	-1	-1.34	5	2.12	1	
7	x	-2	-0.3	0	0.4	2	

	у	-1	-0.12	-0.23	0.24	1	
8	х	-1	-0.6	0	0.3	1	
	у	0	0.8	1	0.95	0	
9	х	-1	-0.6	0	0.3	1	
	у	1	0.36	0	0.9	1	

Содержание отчета

- цель работы;
- задание;
- краткое описание действий;
- графики по всем пунктам программы;
- выводы по работе.

Лабораторная работа № 4. Нейросетевая аппроксимирующая модель.

Цель работы. Научиться работать с сетью прямой передачи сигнала, функция `newff` в матлаб. Изучить алгоритм обратного распространения ошибки.

Краткие теоретические сведения

В лабораторной работе рассматривается нейронная сеть с прямой передачей сигнала (с прямой связью) [2], то есть сеть, в которой сигналы передаются только в направлении от входного слоя к выходному, и элементы одного слоя связаны со всеми элементами следующего слоя. Важнейшим для реализации нейронных сетей является определение алгоритма обучения сети.

В настоящее время одним из самых эффективных и обоснованных методов обучения нейронных сетей является *алгоритм обратного распространения ошибки*, который применим к *однонаправленным многослойным сетям*. В многослойных нейронных сетях имеется множество

скрытых нейронов, входы и выходы которых не являются входами и выходами нейронной сети, а соединяют нейроны внутри сети, то есть *скрытые нейроны*. Занумеруем выходы нейронной сети индексом $j=1,2,\dots,n$, а обучающие примеры индексом $M=1,2,\dots,M_0$. Тогда в качестве целевой функции можно выбрать функцию ошибки как сумму квадратов расстояний между реальными выходными состояниями y_{jM} нейронной сети, выдаваемых сетью на входных данных примеров, и правильными значениями функции d_{jM} , соответствующими этим примерам. Пусть $\mathbf{x} = \{x_i\}$ – столбец входных значений, где $i=1,2,\dots,n$. Тогда $\mathbf{y} = \{y_j\}$ – выходные значения, где $j=1,2,\dots,m$. В общем случае $n \neq m$. Рассмотрим разность $y_{jM} - d_{jM}$, где d_{ji} – точное (правильное) значение из примера. Эта разность должна быть минимальна. Введем расстояния согласно евклидовой метрике, определив норму

$$\|\mathbf{y} - \mathbf{d}\| = \sqrt{(\mathbf{y} - \mathbf{d}, \mathbf{y} - \mathbf{d})} \quad (1)$$

Пусть целевая функция имеет вид

$$E = \frac{1}{2} \sum_{j,M} (y_{j,M} - d_{j,M})^2 \quad (2)$$

Коэффициент $\frac{1}{2}$ выбран из соображений более короткой записи последующих формул. Задача обучения нейронной сети состоит в том, чтобы найти такие коэффициенты $w_{\beta k}$, при которых достигается минимум $E(\mathbf{w}) (E \geq 0)$.

На рис. 1 показана архитектура нейронной сети с прямой передачей сигнала.

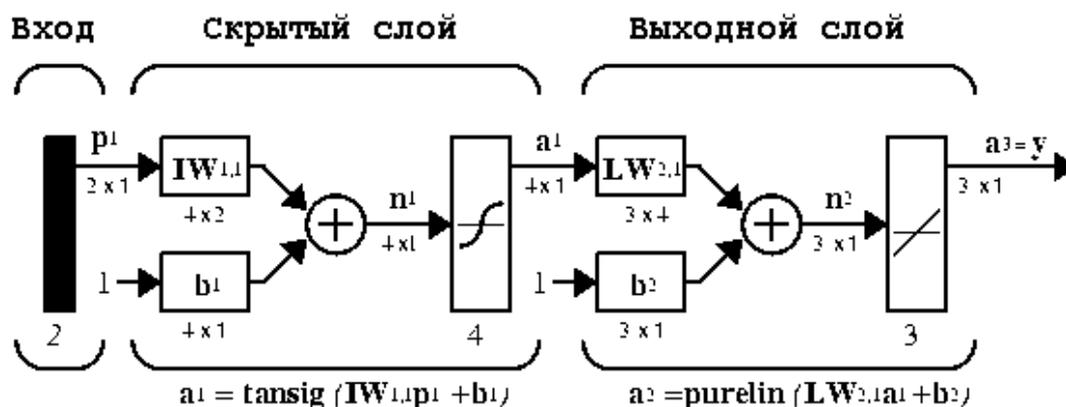


Рис. 1. Схема архитектуры нейронной сети с прямой передачей сигнала

Здесь приняты обозначения, используемые в [1], а именно, p^1 - вектор входа, $IW^{i,j}$, $LW^{i,j}$ - матрицы весов входа и выхода, b^i - смещение, a^i - выход слоя, y - выход сети, tansig (гиперболическая тангенциальная), purelin (линейная) - соответствующие функции активации.

Весы и смещения определяются с помощью алгоритма обратного распространения ошибок [3].

Обучение сети обратного распространения требует выполнения следующих операций:

1. Выбрать очередную обучающую пару из обучающего множества; подать входной вектор на вход сети.
2. Вычислить выход сети.
3. Вычислить разность между выходом сети и требуемым выходом (целевым вектором обучающей пары).
4. Скорректировать веса сети так, чтобы минимизировать ошибку.
5. Повторять шаги с 1 по 4 для каждого вектора обучающего множества до тех пор, пока ошибка на всем множестве не достигнет приемлемого уровня.

Пример

Ход работы: оцифровка графика функции $y=f(x)$, то есть получение соответствующих значений по горизонтальной и вертикальной осям.

Программа создания, обучения нейронной сети и вывода результатов.

```
x=[0.10 0.31 0.51 0.72 0.93 1.14 ...  
1.34 1.55 1.76 1.96 2.17 2.38 ...  
2.59 2.79 3.00];  
y=[0.1010 0.3365 0.6551 1.1159 1.7632 2.5847 ...  
3.4686 4.2115 4.6152 4.6095 4.2887 3.8349 ...  
3.4160 3.1388 3.0603];  
net=newff([0 3],[5,1],{'tansig','purelin'},'trainbfg');  
net.trainParam.epochs=300;  
net.trainParam.show=50;  
net.trainParam.goal=1.37e-2;  
[net,tr]=train(net,x,y);  
an=sim(net,x);  
plot(x,y,'+r',x,an,'-g'); hold on;  
xx=[0.61 2.61];  
v=sim(net,xx)  
plot(xx,v,'ob','MarkerSize',5,'LineWidth',2)
```

В результате выполнения программы получаются следующие результаты, отражённые на рис. 3 и 4:

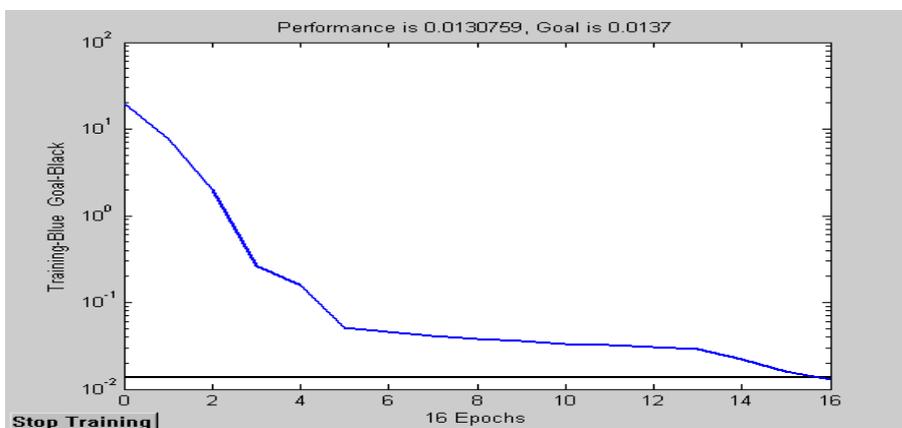


Рис. 3. Характеристика точности обучения в зависимости от числа эпох

обучения

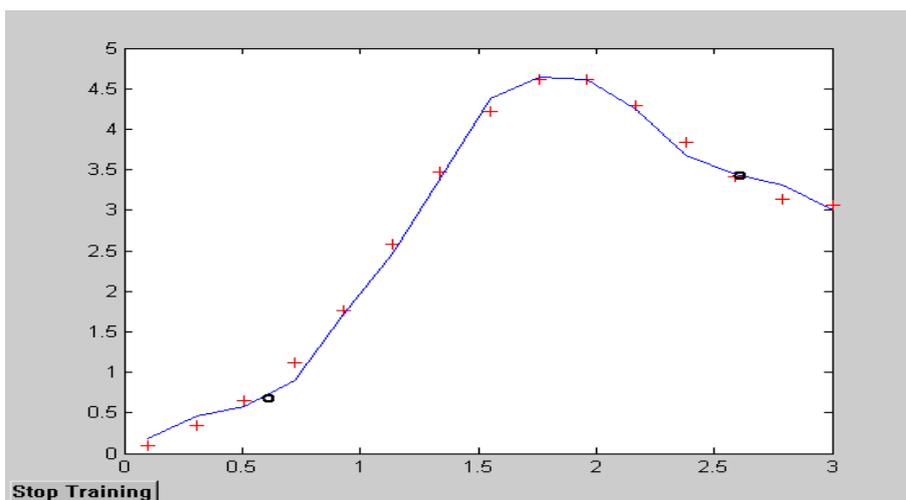


Рис. 4. Результаты моделирования сети: + - исходные данные; сплошная линия и символ «o» – результаты моделирования всей зависимости и в контрольных точках

В массиве \mathbf{v} содержатся приближённые значения для двух контрольных точек, указанных на графике (рис. 2) $\mathbf{xx}=[0.61 \ 2.61]$. При данных параметрах сети получены значения: $\mathbf{v}=[1.05 \ 3.35]$. Сравнив эти приближённые значения с точными значениями $[0.85 \ 3.37]$, можно сделать вывод о корректности построения нейронной сети.

Контрольные вопросы

1. Что такое аксон
2. В чем суть обучения нейронной сети
3. Что такое дендрит
4. Каким образом формируются начальные значения синапсов
5. Приведите примеры парадигм нейронных сетей

Содержание отчёта о выполнении работы

Отчёт о выполнении лабораторной работы №1 должен быть выполнен на листах формата А4 и содержать следующие результаты:

1. Исходные данные;
2. Текст программы с подробными комментариями;

3. Характеристику точности обучения (рис. 3);
4. Результаты моделирования (рис. 4);
5. Сопоставление результатов в контрольных точках;
6. Краткие выводы о результатах работы.

Варианты заданий

Вариант							
1	x	-1	-0.5	0	0.2	1	
	y	1	0.25	0	0.4	1	
2	x	-1	-0.6	0.2	0.4	1	
	y	-1	-1.67	5	2.5	1	
3	x	-1	-0.5	0	0.3	1	
	y	-1	-0.13	0	0.27	1	
4	x	-1	-0.6	0	0.3	1	
	y	0	0.8	1	0.95	0	
5	x	-2	-0.35	0	0.56	2	
	y	1	0.56	0.1	0.3	1	
6	x	-1	-0.5	0.2	0.3	1	
	y	-1	-1.34	5	2.12	1	
7	x	-2	-0.3	0	0.4	2	
	y	-1	-0.12	-0.23	0.24	1	
8	x	-1	-0.6	0	0.3	1	
	y	0	0.8	1	0.95	0	
9	x	-1	-0.6	0	0.3	1	
	y	1	0.36	0	0.9	1	

Лабораторная работа №5. Система нечеткого вывода

Цель работы: ознакомление со способами и средствами описания нечётких продукций в системе нечёткого вывода в интерактивном режиме использования графических средств пакета **Fuzzy Logic Toolbox**.

Работа проводится на основе рассмотрения примера системы нечёткого вывода, решающей задачу получения рекомендации о размере чаевых в зависимости от качества обслуживания и еды в ресторане.

Введение. Система нечёткого вывода (файл «tipper.fis»), выбранная для рассмотрения, решает задачу получения рекомендации относительно величины чаевых официанту в зависимости от качества обслуживания и еды, заказанной клиентом.

Эмпирические знания эксперта, использованные для решения задачи в этой проблемной области, представлены в виде следующих эвристических правил:

1. Если обслуживание плохое или ужин подгоревший, то чаевые малые.
2. Если обслуживание хорошее, то чаевые средние.
3. Если обслуживание отличное или ужин превосходный, то чаевые щедрые.

Для ввода количественных эквивалентов нечётких значений входных переменных предлагается бальная система оценок качества обслуживания и еды (от 0 до 10), что определило диапазоны их порядковых шкал.

Для представления результатов оценка чаевых предлагается в процентах от стоимости заказа в диапазоне от 0 до 30% .

Ход работы

1. Войти в среду **MATLAB** щёлчком по символу на рабочем столе.
2. Вызвать редактор системы нечёткого вывода FIS вводом команды **fuzzy** в окне команд **MATLAB**, обеспечив получение структуры системы нечёткого вывода.

3. В окне редактора FIS, последовательно выделяя прямоугольники с именами, установить названия и диапазон значений входных и выходной лексических переменных, использованных в задаче, по информации в правой нижней части окна.
4. По информации в левой нижней части окна определить выбранные способы реализации операций нечёткого пересечения и объединения нечётких множеств, нечёткой импликации, а также операций агрегирования и дефазификации.
5. Для ознакомления с принятыми способами фазификации значений лингвистических переменных, используем окно редактора функций принадлежности, вызвав его командой **Membership Function** из пункта меню **Edit** окна редактора FIS.
6. В окне редактора функций принадлежности, последовательно выделяя лингвистические переменные, определить для каждого её значения тип и параметры функции принадлежности по информации в правой нижней части окна после щелчка по её графику в верхней части окна.
7. Для ознакомления с текстом правил–продукций используем окно редактора правил, вызвав его командой **Rules...** из пункта меню **Edit** окна редактора функций принадлежности.
8. Анализируя правила получения результатов, оцените как и все ли ситуации учтены при получаемых рекомендациях.
9. Для ознакомления с результатами решения задачи используем окно редактора правил для вызова программы просмотра правил, по команде **Rules** из пункта меню **View**.
10. Меняя количественные оценки качества обслуживания и еды, оцените адекватность рекомендаций сложившейся ситуации.

Вопросы

1. В чем особенности метода продукций?
2. Что такое база правил?
3. Поясните понятие нечеткого вывода
4. Отличие нечеткого вывода от четкого?
5. Приведите примеры операций над нечеткими множествами.

Содержание отчета

1. Титульный лист, содержание.
2. Краткое описание задачи и метода ее решения.
3. Анализ работы системы нечеткого вывода на основе подготовленных правил.
4. Анализ функций нечеткой принадлежности, использованных для решения задачи.
5. Построение поверхности нечеткого вывода. Выбор альтернативы. Комментарии к полученным результатам.
6. Ответы на вопросы

Варианты заданий

1. НЧС, рекомендующая распределение времени при подготовке к экзаменам.
2. НЧС по выбору темы для бакалаврской работы.
3. НЧС по диагностике состояния здоровья пациента.
4. НЧС по принятию финансовых решений в области малого предпринимательства.
5. НЧС, определяющая неисправность автомобиля и дающая рекомендации по ее устранению.
6. НЧС по выбору автомобиля.

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Замятин Н. В. Нечеткая логика и нейронные сети: учебное пособие / Н. В. Замятин; рец.: И. А. Ходашинский, С. Н. Ливенцов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск: Эль Контент, 2014. - 146 с. (10 экз. в библиотеке ТУСУР)
2. Павлов С. Н. II Системы искусственного интеллекта : учеб. пособие. В 2-х частях. /С. Н. Павлов. — Томск: Эль Контент, 2011. —176 с. (10 экз. в библиотеке ТУСУР)
3. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. Матлаб 6. М.: Диалог МИФИ, 2002. – 496с.
4. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 287с.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. – М.: Мир, 1992.
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. М.: Горячая линия - Телеком, 2001. – 382с.
7. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.:

Финансы и