

Заргарян Юрий Артурович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: jury.zargaryan@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371689; кафедра систем автоматического управления; ассистент.

Косенко Олеся Валентиновна – e-mail: o_kosenko@mail.ru; кафедра систем автоматического управления; ассистент.

Васильев Илья Алексеевич – e-mail: vasilya92@gmail.com; систем автоматического управления; студент.

Zargarjan Jury Arturovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: jury.zargaryan@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371689; the department of automatic control systems; assistant.

Kosenko Olesia Valentinovna – e-mail: o_kosenko@mail.ru; the department of automatic control systems; assistant.

Vasilyev Ilya Alekseyevich – e-mail: vasilya93@gmail.com; the department of automatic control system; student.

УДК 519.816

В.А.А. Каид

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

Рассматриваются особенности разработки и применения информационного обеспечения при формализации знаний экспертов в условиях неопределенности. Приведен обзор построения функций принадлежности нечетких переменных, на основе прямых и косвенных методов. Для выполнения исследований в работе, была разработана программа в среде matlab, позволяющая строить функции принадлежности нечетких множеств с применением трех методов, прямого группового метода, метода статистических данных и метода парных сравнений. Приведено математическое описание данных перечисленных методов построения функции принадлежности и примеры их применения.

Нечеткое множество; лингвистическая переменная; функция принадлежности; прямой групповой метод; метод статистических данных; метод парных сравнений.

W.A.A. Qaid

METHODS CONSTRUCTION MEMBERSHIP FUNCTION OF FUZZY SETS

In a scientific article features of the development and application of information management in the formalization of expert knowledge in the face of uncertainty. The review of the construction of the membership functions of odd-cal variables, in direct and indirect methods. To perform research in the work program has been developed in an environment matlab, allow to build one's membership functions of fuzzy sets with the three methods, direct the group method, the method of statistical data and the method of paired comparisons. The mathematical description of these methods listed building membership functions and examples of their application.

Fuzzy sets; linguistic variable; membership function; direct group methods; method of statistical data; method of pair comparisons.

В теории нечетких множеств функция принадлежности играет значительную роль, так как это основная характеристика нечеткого объекта, а все действия с нечеткими объектами производятся через операции с их функциями принадлежности. Определение функции принадлежности – это важная стадия, позволяющая затем оперировать с нечеткими объектами.

Как правило, функция принадлежности строится либо на основе статистической информации, либо при участии эксперта (группы экспертов). В первом случае функция принадлежности должна иметь частотную интерпретацию (степень принадлежности адекватна понятию вероятности события), во втором случае степень принадлежности рассматривается, как интенсивность проявления некоторого свойства (ощущения). Методы построения функции принадлежности делятся на прямые и косвенные. На рис. 1 приведена классификация методов построения функций принадлежности [1].

Прямые методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функции принадлежности $\mu_A(x)$, характеризующей элемент x . Прямые методы задания функции принадлежности используются для измеримых понятий, таких как скорость, время, расстояние, давление, температура и т.д., или когда выделяются полярные значения.

Разновидностями прямых методов являются прямые групповые методы, прямыми методами являются также непосредственное задание функции принадлежности таблицей, графиком или формулой. Из анализа результатов исследований и решения практических задач, связанных с необходимостью обрабатывать информацию, известно, что прямые методы в основном используются в качестве вспомогательных, так как характеризуются большой долей субъективизма.

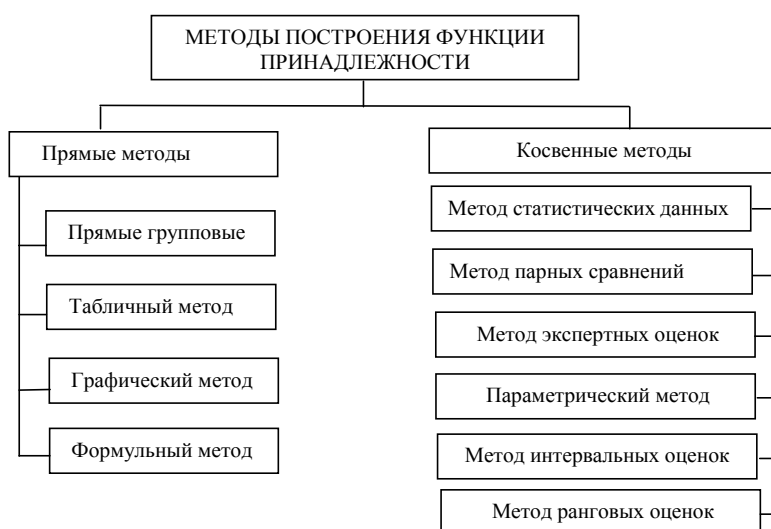


Рис. 1. Классификация методов построения функций принадлежности

Косвенные методы построения значений функции принадлежности используются в случаях, когда нет элементарных измеримых свойств, через которые определяются нечеткие множества.

В косвенных методах значения функции принадлежности выбираются таким образом, чтобы удовлетворить заранее сформулированным условиям. Экспертная информация является только исходной информацией для дальнейшей обработки. Дополнительные условия могут налагаться как на вид получаемой информации, так и на процедуру ее обработки. К таким методам относятся статистический метод, метод парных сравнений, метод экспертных оценок.

Лингвистическая переменная задается кортежем [2]:

$$\langle A, T(A), U, V, M \rangle, \quad (1)$$

где A – название переменной; $T(A)$ – терм-множества переменной A , т.е. множество названий лингвистических значений переменной A , причем каждое из таких значений

– нечеткая переменная со значениями из универсального множества U ; V – синтаксическое правило (обычно грамматика), порождающее названия значений лингвистической переменной A ; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной из $T(A)$ нечеткое подмножество универсального множества U . На рис. 2 приведен пример задания лингвистической переменной «цена».

Рассмотрим три способа построения функции принадлежности: прямой групповой метод, метод статистических данных и метод парных сравнений.

Прямые групповые методы. Когда, например, группе экспертов предъявляют конкретный объект, и каждый должен дать один из двух ответов: принадлежит или нет этот объект к заданному множеству. Тогда число утвердительных ответов, деленное на общее число экспертов, дает значение функции принадлежности объекта к данному нечеткому множеству [3].

Для выполнения исследований была разработана программа, позволяющая строить функции принадлежности нечетких множеств с применением прямого группового метода.

Для проведения исследований запускаем эту программу и из меню выбираем этот метод (прямой групповой метод), как показано на рис. 3. Затем вводим параметры X_{min} и X_{max} – например, минимальная цена 10 и максимальная цена 65.

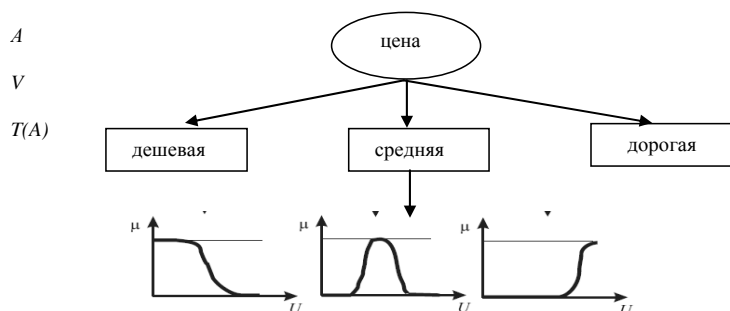


Рис. 2. Пример задания лингвистической переменной «цена»



Рис. 3. Прямой групповой метод

Каждому эксперту присвоен номер. Затем вводим номер эксперта, например (4). Затем нажимаем кнопку «цена», начиная с минимального значения и в text books будет определена минимальная цена (10).

После этого начинается опрос экспертов, как они считают 10 немного или средняя цена или большая. Задание вопросов показано на рис. 3. Нажимаем кнопку ENTER, если все эксперты ответили на этот вопрос.

В диалоговом окне, в text books появится значение цены (15), как показано на рис. 4. Эксперты вновь отвечают на вопрос об отношении значения цены (15) к понятиям немного или средняя цена или большая, и так будет повторяться всё до максимальной цены. Результаты ответа экспертов можно представить в табличном виде, как показано в табл. 1.

Таблица 1

цены	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
экспрт												
1 ^{ый} экспрт	Н	Н	Н	Н	Н	С	С	С	С	С	Б	Б
2 ^{ой} экспрт	Н	Н	Н	Н	С	С	С	С	С	Б	Б	Б
3 ^{ий} экспрт	Н	Н	Н	С	С	С	С	С	Б	Б	Б	Б
4 ^{ый} экспрт	Н	Н	С	С	С	С	С	Б	Б	Б	Б	Б

Н – небольшая цена; С – средняя цена; Б – большая цена.

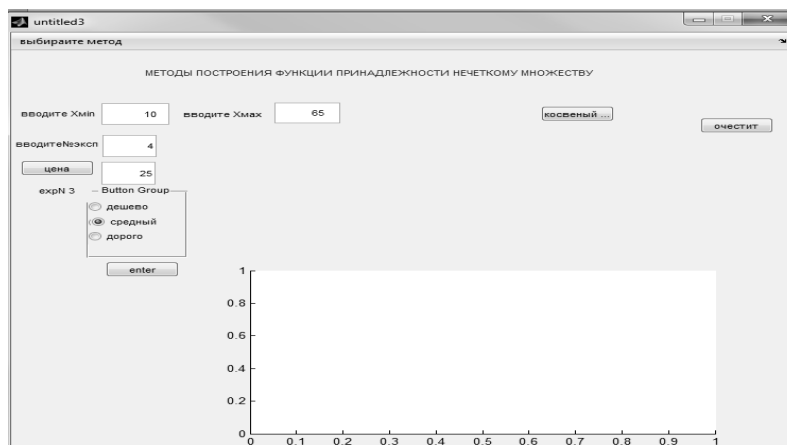


Рис. 4. Значение цены в text books

На четком множестве $A=\{10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65\}$ получаем три нечётких множеств B – небольшая цена, C – средняя цена и D – большая цена.

$$B=\{(10/1),(15/1),(20/0,75),(25/0,5),(30/0,25),(35/0),\dots,(65/0)\};$$

$$C=\{(10/0),(15/0),(20/0,25),(25/0,5),(30/0,75),(35/1),(40/1),(45/0,75),(50/0,5),$$

$$(55,0,25),(60,0),(65,0)\};$$

$$D=\{(10/0),\dots,(40/0),(45/0,25),(50/0,5),(55/0,75),(60/1),(65/1)\}.$$

В окне программного приложения появятся функции принадлежности, как показано на рис. 5.

Метод построение функций принадлежности с использованием статистических данных. Предположим, что наблюдая за объектом в течение некоторого времени, человек n раз фиксирует свое внимание на том, имеет место факт A или нет. Событие, заключающееся в n проверках наличия факта A , называют оценочным. Пусть в k проверках имел место факт A . Тогда эксперт регистрирует частоту $p=k/n$ появления факта A и оценивает ее с помощью слов «часто», «редко» и т.п. На универсальной шкале $[0,1]$ необходимо разместить значения лингвистической переменной: Весьма редко, более – менее редко, более менее часто, весьма

часто. Тогда степень принадлежности некоторого значения вычисляется как отношение числа экспериментов, в которых оно встречалось в определенном интервале шкалы, к максимальному для этого значения числу экспериментов по всем интервалам. Метод требует выполнения условия, чтобы в каждый интервал шкалы попадало одинаковое число экспериментов. Если это условие не выполняется, требуется дополнительная обработка экспериментальных данных с помощью матрицы подсказок [4].

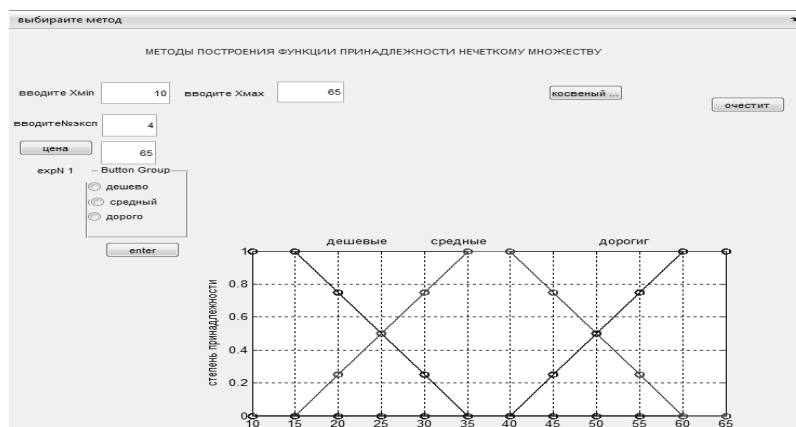


Рис. 5. Построение функции принадлежности нечеткого множества

Для исследования была разработана программа метода статистических данных. После запуска этой программы из меню выбираем косвенный метод и вводим значения X_{min} и X_{max} (10 и 65). В text books появится минимальная цена (10) и затем вводим оценки, как показано на рис. 6.

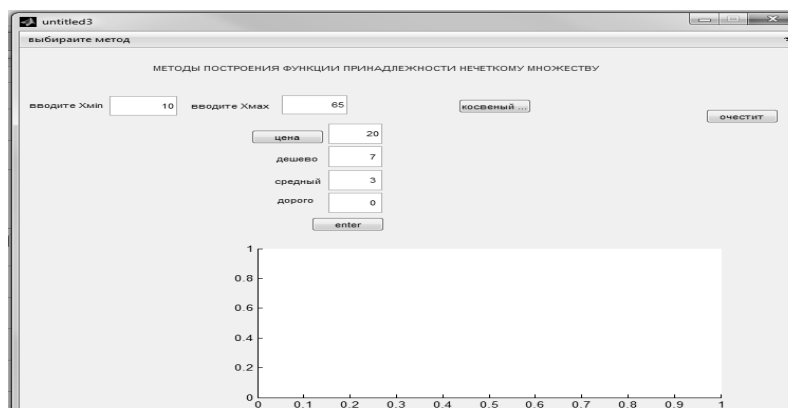


Рис. 6. Выбор метода и ввод переменных значений

Матрица оценки имеет вид, показанный в в табл. 2.

Таблица 2

цены	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
Небольшая	3	6	7	4	1	0	0	0	0	0	0	0
Средняя	0	0	3	4	6	7	6	8	3	1	0	0
Большая	0	0	0	0	0	0	0	2	3	6	9	6

Элементы матрицы подсказок вычисляются по формуле

$$k_j = \sum_{i=1}^3 b_{ij}, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,12}. \quad (2)$$

Матрица подсказок представляет собой строку $k_j = \{3, 6, 10, 8, 7, 7, 6, 10, 6, 7, 9, 6\}$. Выбирается максимальный элемент:

$$k_{\max} = \max_j k_j. \quad (3)$$

Получаем $k_{\max} = 10$. Затем все элементы матрицы преобразуются по формуле

$$c_{ij} = (b_{ij} \cdot k_{\max}) / k_j, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,12}. \quad (4)$$

Для столбцов с $k_j = 0$ применяется линейная аппроксимация:

$$c_{ij} = (c_{ij-1} + c_{ij+1}) / 2, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,12}. \quad (5)$$

В результате получим матрицу коэффициентов c_{ij} , вид которой показан в табл. 3.

Таблица 3

i	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
1	10	10	7	5	1,428	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	3	5	8,571	10	10	8	5	1,428	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	2	5	8,571	10	10

Для построения функций принадлежности находят максимальные элементы по строкам матрицы с коэффициентами c_{ij} по формулам:

$$c_{i\max} = \max_j c_{ij}, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,12}, \quad (6)$$

$$\mu_{ij} = \frac{c_{ij}}{c_{i\max}}, \quad i = \overline{1,3}, \quad j = \overline{1,12}. \quad (7)$$

Значения функций принадлежности μ_{ij} приведены в табл. 4.

Таблица 4

μ_{ij}	0,15	0,23	0,30	0,38	0,46	0,53	0,61	0,69	0,76	0,85	0,9	1
μ_1	1	1	0,7	0,5	0,14	0	0	0	0	0	0	0
μ_2	0	0	0,3	0,5	0,86	1	1	0,8	0,5	0,14	0	0
μ_3	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,5	0,86	1	1

На рис. 7 будет показан результат построения функции принадлежности.

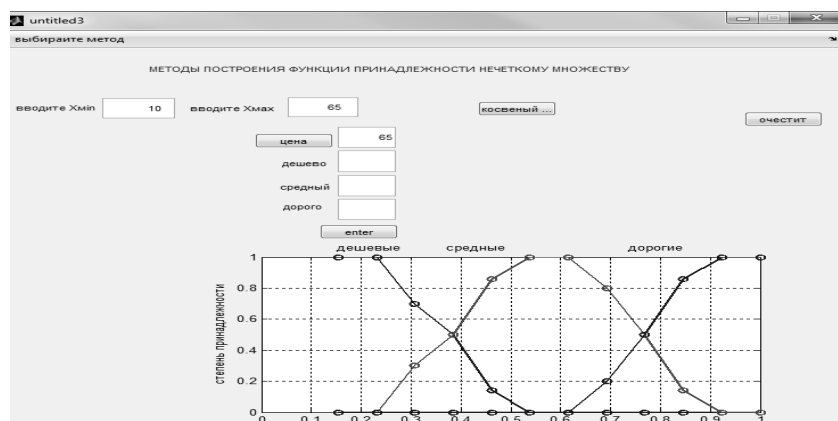


Рис. 7. Результат построения функции принадлежности

Метод парных сравнений. Метод основан на обработке матрицы оценок, отражающих мнение эксперта об относительной принадлежности элементов множеству или степени выраженности у них некоторого оцениваемого свойства [3]. Степень принадлежности элементов множеству A будет определяться посредством парных сравнений. Для сравнения элементов используются следующие оценки:

- ◆ если интенсивность важности 1, то качественная оценка «одинаковая значимость», так как элементы равны по значению;
- ◆ если интенсивность важности 3, то качественная оценка «слабо значимее», так как существуют показания о предпочтении одного элемента другому, но показания неубедительны;
- ◆ если интенсивность важности 5, то качественная оценка «существенно или сильнее значимее», так как существует хорошее доказательство и логические критерии, которые могут показать, что один из элементов более важен;
- ◆ если интенсивность важности 7, то качественная оценка «очевидно значимее», так как существует убедительное доказательство большей значимости одного элемента по сравнению с другим;
- ◆ если интенсивность важности 9, то качественная оценка «абсолютно значимее», так как максимально подтверждается осязательность предпочтения одного элемента другим;
- ◆ если интенсивность важности 2,4,6,8, то качественная оценка «промежуточные оценки между соседними оценками», так как необходим компромисс.

Оценку элемента x_i по сравнению с элементом x_j с точки зрения свойства A , обозначим через a_{ij} . Для обеспечения согласованности примем $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Оценки a_{ij} составляют матрицу $A = \|a_{ij}\|$.

Найдем $W = (w_1, \dots, w_n)$ – собственный вектор матрицы A , решая уравнение

$$AW = \lambda W \rightarrow AW - \lambda W = 0 \rightarrow W(A - \lambda E) = 0, \quad (8)$$

где λ – собственное значение матрицы A .

Для выполнения исследования была разработана программа, работающая по алгоритму метода парных сравнений. Рассмотрим работу с этой программой.

Запускаем эту программу и из меню выбираем косвенный метод (метод парных сравнений).

Затем вводим X_{min} и X_{max} – значения минимальной цены и максимальной цены (например, 10 и 65). На рис. 8 показано, что в text books1 будет минимальная цена (10), а в text books2 будет максимальная цена (65). Затем вводятся оценки сравнения.

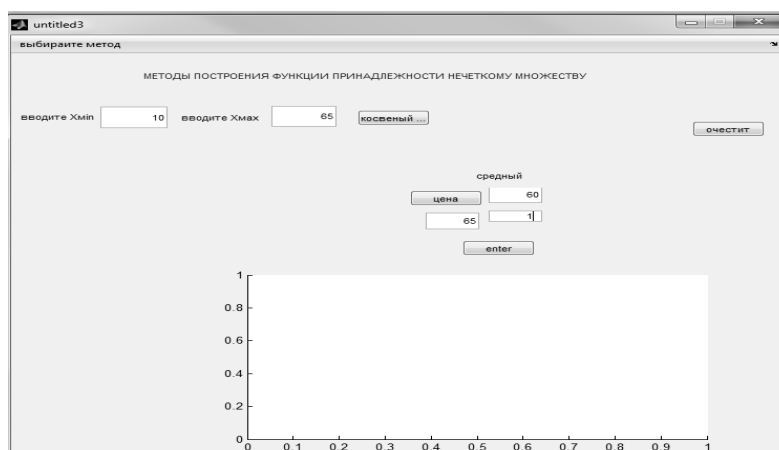


Рис. 8. Значение цены в text books

В табл. 5 приведен вид полученной в результате работы программы матрицы парных сравнений для небольшой цены. В результате будет получено нечеткое множество B (небольшая цена), имеющее вид:

$$B = \{(10/1), (15/1), (20/0,75), (25/0,55), (30/0,33), (35/0,11), (40/0,11), (45/0,11), (50/0,11), (55/0,11), (60/0,11), (65/0,11)\}.$$

В табл. 6 приведен вид полученной в результате работы программы матрицы парных сравнений для средней цены. В результате будет получено нечеткое множество C (средняя цена), имеющее вид:

$$C = \{(10/0,11), (15/0,11), (20/0,33), (25/0,55), (30/0,77), (35/1), (40/1), (45/0,77), (50/0,56), (55/0,33), (60/0,1), (65/0,1)\}.$$

В табл. 7 приведен вид полученной в результате работы программы матрицы парных сравнений для большой цены. В результате будет получено нечеткое множество D (большая цена), имеющее вид:

$$D = \{(10/0,11), (15/0,1), (20/0,11), (25/0,11), (30/0,11), (35/0,11), (40/0,11), (45/0,33), (50/0,55), (55/0,77), (60/1), (65/1)\}.$$

Таблица 5

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
10	1	1	1,2857	1,8	3	9	9	9	9	9	9	9
15	1	1	1,2857	1,8	3	9	9	9	9	9	9	9
20	0,7778	0,778	1	1,4	2,333	7	7	7	7	7	7	7
25	0,5556	0,555	0,7143	1	1,666	5	5	5	5	5	5	5
30	0,3333	0,333	0,4286	0,6	1	3	3	3	3	3	3	3
35	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
40	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
45	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
50	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
55	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
60	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1
65	0,1111	0,111	0,1429	0,2	0,333	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 6

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
10	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,111	0,111	0,1429	0,2	0,33	1	9
15	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,111	0,111	0,1429	0,2	0,33	1	9
20	3	3	1	0,6	0,4286	0,333	0,333	0,4286	0,6	1	3	3
25	5	5	1,666	1	0,7143	0,555	0,555	0,7143	1	1,666	5	5
30	7	7	2,333	1,4	1	0,777	0,777	1	1,4	2,333	7	7
35	9	9	3	1,8	1,2857	1	1	1,2857	1,8	3	9	9
40	9	9	3	1,8	1,2857	1	1	1,2857	1,8	3	9	9
45	7	7	2,333	1,4	1	0,777	0,777	1	1,4	2,333	7	7
50	5	5	1,666	1	0,7143	0,555	0,555	0,7143	1	1,666	5	5
55	3	3	1	0,6	0,4286	0,333	0,333	0,4286	0,6	1	3	3
60	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,111	0,111	0,1429	0,2	0,33	1	9
65	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,111	0,111	0,1429	0,2	0,33	1	9

Таблица 7

	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
10	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,1111
15	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,1111
20	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,1111
25	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,1111
30	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,11
35	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,1111
40	1	1	1	1	1	1	1	0,3333	0,2	0,1429	0,1111	0,111
45	3	3	3	3	3	3	3	1	0,6	0,4286	0,3333	0,3333
50	5	5	5	5	5	5	5	1,6667	1	0,7143	0,5556	0,5556
55	7	7	7	7	7	7	7	2,333	1,4	1	0,7778	0,7778
60	9	9	9	9	9	9	9	3	1,8	1,2857	1	1
65	9	9	9	9	9	9	9	3	1,8	1,2857	1	1

На рис. 9 приведен вид полученных функций принадлежности.

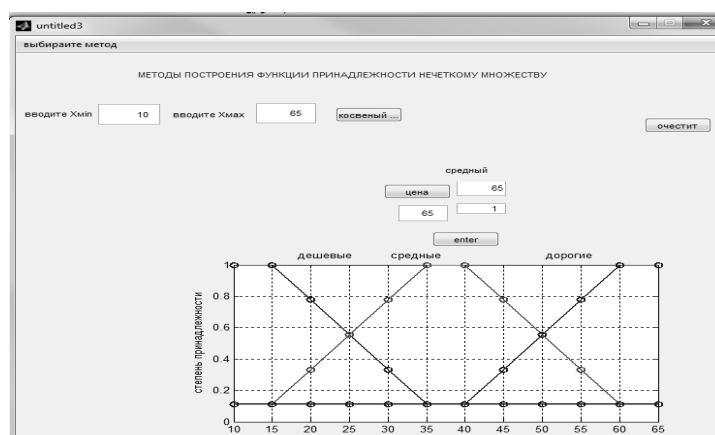


Рис. 9. Вид полученных функций принадлежности

Таким образом, экспертам предоставляется возможность построения функций принадлежности нечетких множеств разными методами, что особенно важно, так как всегда существует задача оценки непротиворечивости знаний экспертов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и Связь, 1982. – 431 с.
2. Финаев В.И. Модели систем принятия решений: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. - 118 с.
3. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
4. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Е. Золотовский.

Каид Вадиа Ахмед Абдо – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: wadea@mail.ru; г. Таганрог, ул. Петровская, 17; тел.: 89514972879; кафедра систем автоматического управления; аспирант.

Qaid Wadea Ahmed Abdo – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: wadea@mail.ru; 17, Petrovskaya, Taganrog, Russia; phone: +79514972879; the department of automatic control systems; postgraduate student.

УДК 519.816

Е.Н. Павленко

САМООРГАНИЗУЮЩИЕСЯ АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Рассматривается формализация и принципы построения систем автоматической оптимизации с применением знаний экспертов. Системы способны проявлять свойство самоорганизации за счет адаптации к изменяющимся параметрам объекта управления. Так как задачи обеспечения помехоустойчивости и быстродействия вступают в противоречие, то необходим эвристический выбор нужного для данной ситуации алгоритма поиска из множества допустимых алгоритмов. Этим объясняется целесообразность применения поисковых стратегий с адаптивными методами выбора параметров САО, а также применение средств оценки управляющих решений и процесса функционирования в целом согласно принятым критериям, что, в итоге, обеспечивает адаптивное и оптимальное (субоптимальное) поведение САО.

Система, адаптация; искусственный интеллект; самоорганизация; обучение.

E.N. Pavlenko

SYSTEM ASPECTS OF OPTIMIZATION OF FUNCTIONING OF TERRITORIALLY DISTRIBUTED POWER SYSTEMS

We consider a formalization and construction principles of the automatic optimization with application expertise. Systems can proyaslyat property samoorganizaii by adapting to the changing parameters of the control object. Since the task of ensuring immunity and performance in conflict, you need a heuristic selection of the right for the situation of the search algorithm of the set of feasible algorithms. This explains the usefulness of search strategies with adaptive methods of choosing the parameters of SAO, and the use of assessment tools, and process control solutions operate in accordance with generally accepted criteria, which, in turn, provides an adaptive and optimal (suboptimal) behavior SAO.

System; adaptation; artificial intelligence; self-organization; learning.

Система автоматической оптимизации (САО) – адаптивная система. Оптимальному (субоптимальному) адаптивному управлению посвящено большое число работ. Основная задача «оптимального адаптивного управления «в большом» с достижением конечной цели в заранее неизвестной ситуации» [1].

Согласно работе [2], «адаптивная система – это такая управляющая система, которая в ходе управления любым объектом класса за конечное время достигает цель». Для адаптивных обучаемых систем управления появилось понятие обучаемости и цели управления, а система управления приспосабливается к свойствам конкретного объекта, «о котором заранее известно всего лишь, к какому классу управляемых объектов он относится» [3]. В теории адаптивных систем управления выполнены исследования для синтеза разного вида поисковых САО, однако практическое применение теоретических результатов ограничивается как сложностью синтеза реальных САО, так и степенью априорной и апостериорной неопределенности в задачах адаптации, идентификации и оптимизации.

Приведем основные классические понятия.