

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 16.06.2023 13:46:30
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра программной инженерии

Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 14 » 12 2021 г.



Компьютерные системы поддержки принятия решений
методические указания к лабораторным занятиям для магистров направления
02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных
систем

Курск 2021

УДК 004.9

Составитель: Ю.А. Халин

Рецензент

Кандидат технических наук, с.н.с, доцент А.В. Ткаченко

Компьютерные системы поддержки принятия решений: методические указания к лабораторным занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Ю.А. Халин. Курск, 2021. 36 с. Библиогр.: с. 36.

В работе рассматриваются методы и инструментальные средства поддержки принятия решений. Изложены краткие теоретические сведения, приведены примеры систем поддержки принятия решений, а также задания для самостоятельного решения.

Методические рекомендации предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем.

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 14.12.2021. Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. 1,59 п.л. Уч.-изд. л. 1,28. Тираж 100 экз. Заказ: 1725. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

работа № 1

Использование модифицированного метода анализа иерархий в задачах многокритериального принятия решений

Цель работы:

1. Ознакомиться с модифицированным методом анализа иерархий.
2. Провести сравнительный анализ двух изучаемых методов.

Краткие сведения из теории

В данной работе рассматривается способ решения многокритериальной задачи выбора с использованием модифицированного метода анализа иерархий, предложенного учеными НАН Украины.

В этом методе (МАИМ) происходит непосредственное оценивание важности каждого элемента иерархии в шкале, представленной в табл.1

Таблица 1

Элементы иерархии X	Ранг	Оценки шкалы									
		Очень высокая		Высокая		Средняя		Низкая		Очень низкая	
X ₁		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
X ₂											
⋮											
X _n											

Благодаря наглядности сопоставления всех элементов одного уровня исключаются несогласованности и другие возможные погрешности в оценке суждений, а также упрощается процедура получения взвешенных оценок в рамках каждого уровня. Нормирование оценок важности элементов каждого уровня производится по формуле

$$k_j = \frac{W_j}{\sum_{i=1}^n W_i}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где k_j - коэффициент важности приоритета;

n - число элементов данного уровня иерархии;

W_i, W_j - оценки важности элементов в шкале МАИМ.

Общим для математической обработки оценок метода (как и в МАИ) остается получение системновзвешенных оценок для всех уровней иерархии.

Если получены оценки каждого элемента данного уровня иерархии относительно каждого элемента предыдущего уровня (например, оценки важности критериев относительно цели, или оценки важности альтернатив относительно критериев):

$$k_{1j}, k_{2j}, k_{ij}, k_{mj}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

То для получения оценки K_j элемента x_j , необходимо взвесить ее с помощью оценок $y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ элементов предыдущего уровня иерархии. Взвешенная оценка K_j подсчитывается как сумма произведений оценок k_{ij} на соответствующие оценки Y_{mj} верхнего уровня:

$$K_j = k_{1j}y_{1j} + k_{2j}y_{2j} + \dots + k_{mj}y_{mj} \quad (3)$$

Основные различия модифицированного метода и процедур его обработки приведены в табл.2

Таблица 2

№	Метод оценивания	МАИС	МАИМ
1	Метод оценивания элементов	Попарные сравнения элементов для получения отношений значимости	Оценка элементов непосредственная. Предварительное ранжирование элементов
2	Шкала оценок	Девятибальная шкала относительной важности элементов	Девятибальная шкала абсолютной важности элементов
3	Количество оценок набора из n-элементов	$n(n-1)/2$ Не рекомендуется набор более 9 элементов	n Ограничений на число элементов нет
4	Математическая обработка оценок	Используются формализованные процедуры матричного исчисления с проверкой порога несогласованности суждений	Специальные процедуры обработки и проверки согласованности оценок отсутствуют

Применение модифицированного метода к решению задачи выбора продемонстрируем на примере выбора дома, описанном Т.Саати.

На первом этапе как и в методе МАИС происходит декомпозиция проблемы принятия решения и представление задачи в иерархической форме (рис.1)

Для трех вариантов выбора (А,Б,В) обобщенная характеристика строений дана в

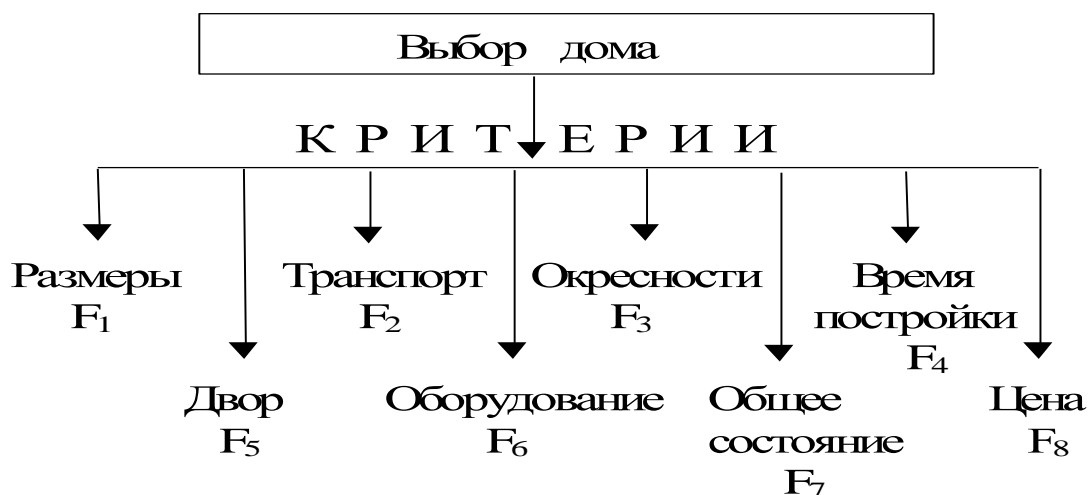


Рис. 1

табл.4

Таблица 4

Критерии F_i	А Л Т Е Р Н А Т И В Ы		
	Дом А	Дом Б	Дом В
1. Размеры	Самый большой	Меньше А, но больше В	Меньше других
2. Транспорт	Лучше Б, но хуже В	Далеко от остановки	Очень удобно с транспортом
3. Окресности	Живописные	Ужасный вид	Хороший вид, но близко трасса
4. Время постройки	Примерно одинаковая		
5. Двор	Самый большой	Очень маленький	Средних размеров
6. Оборудование	Современное	Старое	Лучше Б, но хуже А
7. Общее состояние	Не очень	Одинаково	Хорошее
8. Цена	Подходит	Наиболее	Средняя

	меньше всего	выгодная	
--	--------------	----------	--

На втором этапе производится оценка приоритета критериев относительно главной цели. Предварительно может быть введено ранжирование критериев (с табл.5)

Таблица 5

Крите рий	Ранг	Оценки критериев										Оценка важности критерия
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
F ₁	3-4					*						0,162
F ₂	5								*			0,081
F ₃	3-4					*						0,162
F ₄	8										*	0,027
F ₅	6-7									*		0,054
F ₆	6-7									*		0,054
F ₇	2				*							0,189
F ₈	1	*										0,270

Используя (1), вычислим коэффициенты важности критериев:

например, $k_1 = \frac{W_1}{\sum_{i=1}^m W_i} = \frac{6}{37} = 0,162,$

$$\sum_{i=1}^8 W_i = 6 + 3 + 6 + 1 + 2 + 2 + 7 + 10 = 37,$$

$$k_2 = \frac{W_2}{\sum_{i=1}^m W_i} = \frac{3}{37} = 0,081 \text{ и т.д. (табл.5)}$$

На третьем этапе проводится оценка альтернатив по каждому критерию

F₁ – **размер дома** (табл.6)

Таблица 6

F ₁	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А	*										0,714
Б								*			0,214
В										*	0,071

$$\sum W_i = 10 + 3 + 1 = 14;$$

$$Y_1 = \frac{10}{14} = 0,714; \quad Y_2 = \frac{3}{14} = 0,214; \quad Y_3 = \frac{1}{14} = 0,071.$$

F₂ – транспорт (табл.7)

Таблица 7

F ₂	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А							*				0,266
Б										*	0,066
В	*										0,666

$$\sum W_i = 4 + 1 + 10 = 15;$$

$$Y_1 = \frac{4}{15} = 0,26; \quad Y_2 = \frac{1}{15} = 0,07; \quad Y_3 = \frac{10}{15} = 0,67.$$

F₃ – окрестности (табл.8)

Таблица 8

F ₃	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А	*										0,714
Б										*	0,071
В								*			0,214

$$\sum W_i = 14;$$

$$Y_1 = \frac{10}{14} = 0,714; \quad Y_2 = \frac{1}{14} = 0,071; \quad Y_3 = \frac{3}{14} = 0,214.$$

F₄ – время постройки (табл.9)

Таблица 9

F ₄	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А										*	0,333
Б										*	0,333
В										*	0,333

F₅ – двор (табл.10)

Таблица 10

F ₅	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А	*										0,588
Б									*		0,118
В						*					0,294

$$\sum W_i = 17; \quad Y_1 = \frac{10}{17} = 0,588; \quad Y_2 = 0,118; \quad Y_3 = \frac{5}{17} = 0,294.$$

F₆ – оборудование (табл.11)

Таблица 11

F ₆	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А	*										0,714
Б										*	0,071
В								*			0,214

$$\sum W_i = 14; \quad Y_1 = \frac{10}{14} = 0,714; \quad Y_2 = \frac{1}{14} = 0,071; \quad Y_3 = 0,214.$$

F₇ – общее состояние строения (табл.12)

Таблица 12

F ₇	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А						*					0,200
Б	*										0,400
В	*										0,400

$$\sum W_i = 25;$$

$$Y_1 = \frac{5}{25} = 0,200; \quad Y_2 = \frac{10}{25} = 0,400; \quad Y_3 = \frac{10}{25} = 0,400.$$

F_8 – цена (табл.13)

Таблица 13

F_8	Оценки альтернатив										Оценка важности альтернативы
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
А										*	0,0625
Б	*										0,625
В						*					0,3125

$$\sum W_i = 16;$$

$$Y_1 = \frac{1}{16} = 0,0625; \quad Y_2 = 0,625; \quad Y_3 = 0,3125.$$

Также как в методе МАИС окончательным этапом является синтез задачи принятия решения – определение приоритетов альтернатив относительно главной цели (табл.14)

Таблица 14

Альтернатива	Критерии F_i и их вес								Приоритет альтернативы
	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	
	0,162	0,081	0,162	0,027	0,054	0,054	0,189	0,270	
А	0,714	0,266	0,714	0,333	0,588	0,714	0,200	0,063	0,380
Б	0,214	0,066	0,071	0,333	0,118	0,071	0,400	0,625	0,321
В	0,071	0,666	0,214	0,333	0,294	0,214	0,400	0,313	0,299

$$K_1 = \sum_{i=1}^8 y_{i1} k_{i1} = 0,16 \cdot 0,71 + 0,08 \cdot 0,27 + \dots + 0,27 \cdot 0,06 = 0,380,$$

аналогично $K_2 = 0,321$; $K_3 = 0,299$.

На основании табл.14 следует, что предпочтение будет отдано дому А (приоритетность 0,380).

Задание на работу

1. Для варианта задания:

- построить иерархию, начиная с вершины (цели), через промежуточные уровни (критерии) к нижнему уровню (альтернативы);

- построить множество парных сравнений для каждого из нижних уровней – по одной матрице для каждого элемента принимающего сверху уровня;
- после проведения всех парных сравнений определить согласованность суждений;

Выше описанные процедуры провести для всех уровней в иерархии.

2. Провести расчета приоритетности критериев выбора и альтернатив.

Контрольные вопросы

1. Структура и отношения элементов при иерархическом представлении критериев и альтернатив.
2. Основания введения шкалы метода
3. Аксиомы Т.Саати.
4. Методы обработки матрицы суждений.
5. Расчет показателей согласованности.

лабораторная работа №2

Метод анализа иерархий в задачах многокритериального выбора

Цель работы:

1. Ознакомиться с теоретическими основными методами анализа иерархий Т.Саати.
2. Освоить методические принципы построения процедуры метода при решении многокритериальных задач выбора.

Краткие сведения из теории

Метод анализа иерархий (МАИ). Сталкиваясь с множеством контролируемых или неконтролируемых элементов, отражающих сложную ситуацию, эксперты объединяют их в группы в соответствии с распределением некоторых свойств между элементами. Можно повторять данный процесс таким образом, что группы, или определяющие их свойства, рассматривались в качестве элементов следующего уровня системы. Эти элементы, в свою очередь, могут быть сгруппированы в соответствии с другим набором свойств, создавая элементы еще одного, более высокого уровня, и так до тех пор, пока не будет достигнут единственный элемент - вершина, которую зачастую можно отождествить с целью процесса принятия решений.

Описанная выше структура является иерархией, т.е. системой наслаивания уровней, каждый из которых состоит из многих элементов, или факторов. Центральным вопросом на языке иерархий является следующий: насколько сильно влияют отдельные факторы самого низкого уровня иерархии на вершину – общую цель? МАИ позволяет определять интенсивность влияния всех факторов на конечный (целевой) результат через формально вычисляемый приоритет этих факторов.

Основу метода составляют попарные сравнения объектов (альтернатив) по отношению к некоторому показателю (характеристике), или показателей по отношению к высшей цели.

Обратные отношения обеспечивают ключ к объединению групповых суждений рациональным образом. Так, если один объект тяжелее другого

объекта в 3 раза, то тогда второй объект должен быть в 1/3 раза тяжелее, чем первый.

Для осуществления парных сравнений объектов, а точнее их показателей, сходно задаваемых как качественно, так и количественно, необходимо во-первых введение удобной для различных приложений единой шкалы отношений. Во-вторых, необходим формальный метод выявления несогласованности суждений не только при отдельных сравнениях, но к дающий оценку того, как сильно нарушена согласованность при оценивании для рассматриваемой задачи в целом. Последнее обстоятельство должно служить основой для нахождения приемлемого компромисса между несогласованными суждениями экспертов.

В-третьих, необходима формальная процедура оценивания предпочтительности исходных альтернатив для задачи в целом, которая учитывала бы указанные выше аспекты в принятии решений.

Шкала отношений МАИ. Для попарного сравнения параметров (характеристик) объектов в методе используется единая шкала отношений, представленная табл.1

Таблица 1.

Степень важности	Определение	Пояснения
1	Одинаковая значимость.	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели.
3	Некоторое преобладание значимости одного действия (показателя, фактора) перед другим (слабая зависимость).	Опыт и суждения дают легкое предпочтение одному действию (показателю, фактору) перед другим.
5	Существенная или сильная зависимость.	Опыт и суждения дают легкое предпочтение одному действию (показателю, фактору) перед другим.
7	Очень сильная или очевидная значимость.	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно.

9	Абсолютная значимость.	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени убедительно.
2,4,6,8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение.
Обратные величины приведены чисел	Если действию i при сравнении с действием j присваивается одно из приведенных выше чисел, то действию j при сравнении с i присваивается обратное значение.	

Имеется несколько причин для установления верхнего предела шкалы отношений для попарных сравнений, равного девяти:

1. Качественные различия значимы на практике и обладают элементом точности, когда величина сравниваемых предметов одного порядка.

2. Замечено, что способность человека производить качественные разграничения хорошо представлена пятью определениями: равный, слабый, сильный, очень сильный и абсолютный. Можно принять компромиссные определения между соседними определениями, тогда нужна большая точность. В целом требуется девять значений, и они могут быть хорошо согласованы. Получаемая таким образом шкала хорошо применима на практике.

3. Психологический предел 7 ± 02 предметов при одновременном сравнении подтверждает, что если взять 7 ± 02 отдельных предметов, и если все они слегка отличаются друг от друга, то понадобится девять точек, чтобы различить их. Использование единицы в начале шкалы соответствует отношению значимости объекта относительно самого себя и, как будет показано ниже, хорошо вписывается формальную процедуру обработки матриц (квадратных обратносимметричных матриц с положительными элементами).

Процедура определения приоритетов. Опишем процедуру определения приоритетов, используемую в методе, на следующей задаче [2, с.30].

Немецкая фирма провела тестирование одиннадцати стандартных моделей видеоматричных телефонов (ВМ).

Отметим, что в исходной таблице, кроме качественных показателей, составителями тест-программы ВМ введена и некоторая условная шкала оценки их значимости. Эта шкала включает следующие четыре градации значимости [-2,-1,1,2], условно проиндексированные как ["—", "-", "+", "++"] соответственно. Индекс "0" при этом считается одинаковым по значимости с индексами "-" и "+".

Таблица 2

F	Показатели качества, характеристики	Модель ВМ (альтернатива) x_i				
		Grondig VS 900 (x ₁)	JVC HR-D560EG (x ₂)	Goldstar GSE-1290P (x ₃)	Quelle Universun (x ₄)	Sharp VC-A306 (x ₅)
1	2	3	4	5	6	7
f ₀	Цена, нем. марки DM Средняя цена, нем. марки	795-998 848	795-999 948	595-899 699	798	690-899 748
f ₁	Общая оценка качества	?	?	?	?	?
f ₂	Техническое испытание	?	?	?	?	?
f ₂₁	Измерения видеопараметров	хор. +	хор. +	удовл. 0	хор. +	удовл. 0
f ₂₂	Видеочастотная характеристика	оч.хор. ++	хор. +	удовл. 0	хор. +	удовл. 0
f ₂₃	Отношение сигнал/помеха (яркость)	среднее 0	большое +	среднее 0	среднее 0	среднее 0
f ₂₄	Отношение сигнал/помеха (цвета)	большое +	большое +	большое +	оч.большое +	большое +
f ₂₅	Измерения звука	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	с недост. -	хор. +
f ₂₆	Колебания детонации звука	небольш +	небольш +	небольш +	небольш +	небольш +
f ₂₇	Частотная характеристика	оч.хор. ++	с недост. -	удовл. 0	с больш. недост. -	оч.хор. ++
1	2	3	4	5	6	7
f ₂₈	Отношение сигнал/шум	небольш +	среднее 0	небольш +	небольш +	большое +
f ₂₉	Шипение	сильное -	сильное -	сильное -	сильное -	среднее +
f ₂₁	Запоминающая способ-	оч.хор.	хор. +	с недост.	удовл. -	с недост.

	ность при перерывах питания	++			-		-
f ₃	Качество изображения (зрительный тест)	?	?	?	?	?	?
f ₃₁	Воспроизведение записей с телевизора	оч.хор. ++	хор. +	удовл.. -	хор. +	хор. 0	
f ₃₂	Особые функции	с недост. -	удовл. 0	удовл. 0	с недост. -	удовл 0	
f ₃₃	Стоп-кадр	.хор. +	с недост. -	удовл. 0	с недост. -	с недост -	
f ₃₄	Переключение последовательных кадров	с недост. -	удовл. 0	удовл. 0	с недост. -	удовл. 0	
f ₃₅	Поиск	удовл..0	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	
f ₄	Качество звука (слуховой тест)	удовл. 0	хор. +	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	
f ₅	Обслуживание	?	?	?	?	?	
f ₅₁	Инструкция по эксплуатации	хор. +	хор. +	хор. +	удовл. 0	хор. +	
f ₅₂	Подключение и настройка	хор. +	удовл. 0	удовл. 0	с недост .-	с недост. -	
f ₅₃	Переключение на ВМ	хор. +	хор. +	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	
f ₅₄	Переключения с дистанционного пульта	удовл. 0	хор. +	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	
f ₅₅	Таймер (часы для программирования)	хор. +	хор. +	удовл. 0	хор. +	хор. +	
f ₅₆	Кнопки, индикаторы	удовл. 0	хор. +	удовл. 0	удовл. 0	удовл. 0	

Примечание: В табл 2 приняты следующие сокращения

"хор." - хорошо

"оч.хор." – очень хорошо

"удовл." - удовлетворительно

"с недост." – с недостатками

"с боль.недост." – с большими недостатками

а также производные словосочетания с использованием указанных сокращений.

Определим результирующий вектор приоритетов для показателя $f_1(x_i)$, $i=1(1)5$, т.е. "общей оценки качества" ВМ, используя здесь как экспертные качественные значения показателей f_2, \dots, f_5 .

Тогда иерархия общей оценки качества ВМ может быть представлена рис.1.

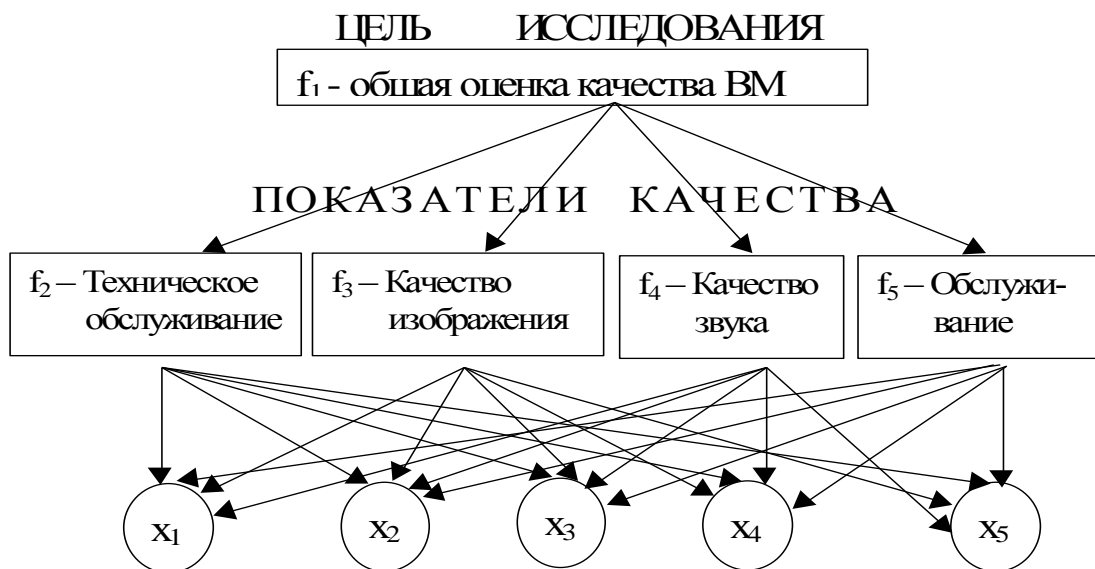


Рис. 4.1. Иерархия общей оценки качества пяти моделей

Произведём сравнение характеристик ВМ относительно "общей оценки качества", отождествляемой с целью процесса принятия решений.

Пусть эксперт, пользуясь шкалой табл.1, оценил относительную значимость показателей f_2, \dots, f_5 следующей обратносимметричной матрицей

$$A_{[4]} = \begin{matrix} & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 \\ \begin{matrix} f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 4 & 6 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (1)$$

Это означает, что для рассматриваемых технических средств автономной консервации и воспроизведения с использованием телевизора звуковой и визуальной информации эксперт, во-первых, отдал предпочтение результатам всестороннего (см. табл.1) и объективного с использованием соответствующей испытательной аппаратуры) тестирования моделей ВМ, т.е. показателю f_2 , по сравнению с субъективными (зрительным - f_3 и слуховым - f_4) и сервисным – f_5 показателями. Во-вторых, более значимый для ВМ принимался показатель

"качество изображения" в сравнении с показателем "качество звука". Оба они, в свою очередь, считались более важными при эксплуатации ВМ, чем показатель "обслуживания". Таким образом, для заполнения матрицы (1) эксперт предварительно определил для себя следующую схему принимаемых в дальнейшем приоритетов $f_2 < f_3 < f_3 < f_5$.

Первая строка матрицы уже задаёт субъективную меру на указанных отношениях строгого предпочтения по отношению к показателю f_2 . Вторая строка правее элемента главной диагонали матрицы задаёт по шкале табл.1 значимость отношений: f_3 / f_4 и f_3 / f_5 . Аналогичным образом заполнены и другие строки матрицы правее её главной диагонали. Затем матрицы описанным ранее путём была дополнена элементами, приводящими её к виду обратносимметричной.

Для матрицы (1) способ 4 приводит к следующему вектор-столбцу $\langle 3,201; 1,682; 0,707; 0,263 \rangle^T$, который после нормализации (сумма элементов его равна 5,853) становится вектором приоритетов:

$$\langle 0,547; 0,287; 0,121; 0,045 \rangle^T \quad (2)$$

Соответствующее (2) собственное значение λ_{\max} найдём умножением матрицы (1) на вектор-столбец (2)

$$\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 \\ 1/3 & 1 & 4 & 6 \\ 1/5 & 1/4 & 1 & 5 \\ 1/7 & 1/6 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,547 \\ 0,287 \\ 0,121 \\ 0,045 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,328 \\ 1,223 \\ 0,527 \\ 0,195 \end{pmatrix}.$$

Разделив элементы полученного результирующего вектора на соответствующие компоненты вектора приоритетов, получим главный собственный вектора исходной матрицы (1)

$$\langle 4,256; 4,261; 4,355; 4,333 \rangle^T,$$

а его усреднение даёт $\lambda_{\max} = 4,301$, что не так уж и далеко от согласованного решения, равного 4,00.

Находим значение индекса согласованности

$$ИС = |(4,301 - 4)| / (4 - 1) = 0,100$$

Сопоставим найденное значение индекса согласованности (ИС) с табличным значением случайного индекса (СИ) для $n=4$ (см.табл.3) отношение ИС к СИ называют отношением согласованности (ОС).

Таблица 3

n	2	3	4	5	6	7	8	9
СИ	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,42	1,45

$$OC = 0,100/0,90 = 0,111$$

Найденное в значение отношения согласованности превосходит её порог в 0,10 на величину 0,01, и, строго говоря, должна была бы привести к пересмотру назначаемых экспертом значений в исходной матрице (1) с целью большей их взаимной согласованности. Однако мы этого делать не станем, полагая, что для рассматриваемых целей значение $OC=0.111$ может быть признано вполне удовлетворительным.

Чтобы получить общее ранжирование ВМ в иерархии воспользуемся следующими соображениями. Для формализации переход от качественных показателей табл.2 к количественным показателям шкалы отношений (см. табл. 1), составим промежуточную табл.4, шкальными значениями которой будем далее пользоваться

Таблица 4

	X	CH	Y
Хорошо (X)	1	3	5
С недостатками (CH)	1/3	1	4
Удовлетворительно (Y)	1/5	1/4	1

В соответствии со значениями табл. 4 произведем сравнение моделей x_1, \dots, x_5 ВМ относительно четырёх их характеристик (f_2, \dots, f_5).

Тогда для показателя f_2 ("техническое испытание") будем иметь следующую таблицу-матрицу парных сравнений:

X	f_2 – Техническое испытание				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	1	1	5	1	1
x_2	1	1	5	1	1
x_3	1/5	1/5	1	1/5	1/5
x_4	1	1	5	1	1
x_5	1	1	5	1	1

(3)

По аналогии с (3) последовательно опишем обратносимметричными матрицами парные сравнения по показателям (f_2, \dots, f_5). Тогда будем иметь

X	f_3 – Качество изображения				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	1	5	5	3	5
x_2	1/5	1	1	1/4	1
x_3	1/5	1	1	1/4	1
x_4	1/3	4	4	1	4
x_5	1/5	1	1	1/4	1

(4)

X	f_4 – Качество звука				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	1	1/5	1	1	1
x_2	5	1	5	5	5
x_3	1	1/5	1	1	1
x_4	1	1/5	1	1	1
x_5	1	1/5	1	1	1

(5)

A	f_5 – Обслуживание				
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
α_1	1	1	5	5	5
α_2	1	1	5	5	5
α_3	1/5	1/5	1	1	1
α_4	1/5	1/5	1	1	1
α_5	1/5	1/5	1	1	1

(6)

Воспользовавшись способом 4 для матриц (3),..., (6) последовательно рассчитаем соответствующие векторы приоритетов.

Для матрицы (3) главным собственным вектором будет следующий вектор-столбец

$$\langle 1,380; 1,380; 0,276; 1,380; 1,380 \rangle^T$$

нормализация которого дает следующий вектор приоритетов

$$\langle 0,238; 0,238; 0,048; 0,238; 0,238 \rangle^T \quad (7)$$

Для матрицы (4) соответственно имеем

$$\langle 3,272; 0,549; 0,549; 1,844; 1,549 \rangle^T$$

и вектор приоритетов

$$\langle 0,484; 0,081; 0,081; 1,273; 1,081 \rangle^T \quad (8)$$

По аналогии для матрицы (5) имеем требуемые два вектор-столбца:

$$\begin{aligned} &\langle 0,725; 3,624; 0,725; 0,725; 0,725 \rangle^T \\ &\langle 0,111; 0,556; 0,111; 0,111; 0,111 \rangle^T \end{aligned} \quad (9)$$

Соответственно для матрицы (6) получим:

$$\begin{aligned} &\langle 2,627; 2,627; 0,525; 0,525; 0,525 \rangle^T \\ &\langle 0,385; 1,385; 0,077; 0,077; 0,077 \rangle^T \end{aligned} \quad (10)$$

Умножим исходную матрицу (3) справа как соответствующий ей вектор приоритетов (7), тогда получим:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,238 \\ 0,238 \\ 0,040 \\ 0,238 \\ 0,238 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,192 \\ 1,192 \\ 0,238 \\ 1,192 \\ 1,192 \end{pmatrix}.$$

Разделив компоненты полученного результирующего вектора на соответствующие компоненты вектора приоритетов, получим главный собственный вектор матрицы

$$\langle 5,001; 5,001; 4,958; 5,001; 5,001 \rangle^T,$$

т.к. $n=5$, то после усреднения получаем приближение к главному собственному значению $\lambda_{\max} = 4,992$. Тогда отклонение от согласованности определится

$$ИС = \frac{|(4,992 - 5)|}{(5 - 1)} = 0,002.$$

Из табл. 3 при $n=5$ имеем значение случайного индекса, равным 1.12, поэтому отношение согласованности получим равным

$$ОС = 0,002/1,127 \approx 0,002,$$

что соответствует хорошей согласованности суждений эксперта, отражённых в исходной матрице 3.

Произведя аналогичные действия с матрицей (4) и её вектором приоритетов (8), получим

$$\begin{pmatrix} 1 & 5 & 5 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/4 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/4 & 1 \\ 1/3 & 4 & 4 & 1 & 4 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,484 \\ 0,081 \\ 0,081 \\ 0,273 \\ 0,081 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2,518 \\ 0,408 \\ 0,408 \\ 1,406 \\ 0,408 \end{pmatrix}.$$

Тогда главный собственный вектор матрицы (4.16) будет приближённо соответствовать следующему:

$$\langle 5,202; 5,037; 5,037; 5,150; 5,037 \rangle^T,$$

а её главное собственное значение равно $\lambda_{\max} = 5,093$. Тогда ИС

$$= |(5,093-5)/(5-1)| = 0,023,$$

а ОС = $0,023/1,12 = 0,021$, что соответствует хорошей согласованности в обратносимметричной матрице (4).

Рассуждая аналогичным образом, для матрицы (5) и её вектора приоритетов (9), получим следующее равенство:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 5 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,111 \\ 0,556 \\ 0,111 \\ 0,111 \\ 0,111 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,555 \\ 2,776 \\ 0,555 \\ 0,555 \\ 0,555 \end{pmatrix}$$

с главным собственным вектором матрицы

$$\langle 5,000; 4,993; 5,000; 5,000; 5,000 \rangle$$

и значением $\lambda_{\max} = 4,999..$

Понятно, что значение ОС в таком случае не превысит заданный порог, что говорит о хорошем согласовании суждений эксперта, представленных значениями принятой шкалы отношений в матрице (5).

Проделав для матрицы (6) и её вектора приоритетов (10) аналогичные вычисления, получим

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/5 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,385 \\ 0,385 \\ 0,077 \\ 0,077 \\ 0,077 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,925 \\ 1,925 \\ 0,385 \\ 0,385 \\ 0,385 \end{pmatrix}.$$

с главным собственным вектором матрицы, равным

$$\langle 5,000; 5,000; 5,000; 5,000; 5,000 \rangle^T,$$

что соответствует полной согласованности оценок в исходной матрице (6).

Выше мы получили векторы приоритетов, оценив качество экспертных суждений по критерию их формальной согласованности, в отдельности для каждого из двух уровней иерархии ситуации принятия решений, представленных на рис.1. Для получения общей оценки качества отдельной модели ВМ необходимо, во-первых, умножить все оценки этой модели по некоторому показателю на вес этого показателя в рассматриваемой ситуации. Затем следует сложить значения, полученные для каждой модели ВМ по всем показателям.

Например, для модели ВМ x_1 , α_{12} (см. рис.1) есть относительный вес результатов технического испытания этой модели. Так как относительный вес технического испытания есть f_2 , то общий вес технического испытания для модели x_1 будет $\alpha_{12} \cdot f_2$. Таким же образом вычисляются значения $\alpha_{13}f_3, \dots, \alpha_{15}f_5$. Следовательно, общая оценка качества для модели α_1 будет суммой общих весов, упомянутых видов их испытаний, т.е. общая оценка модели x_1 соответствует выражению вида

$$\alpha_{12}f_2 + \alpha_{13}f_3 + \alpha_{15}f_5 + \alpha_{15}f_5.$$

Аналогичные рассуждения справедливы и для остальных моделей $\alpha_2, \dots, \alpha_5$ ВМ.

Это то же самое, что взвесить каждый из полученных выше четырёх приоритетов соответствующей характеристики (параметра) и затем сложить (что допустимо при независимости характеристик). Предыдущие рассуждения могут быть представлены в виде матрично-векторного произведения. При этом столбцами в такой обобщающей матрице будут являться полученные ранее векторы приоритетов в последовательности (7),..., (10), т.е. мы получим прямоугольную матрицу размеров 4x5 элементов. Обозначим её как $M_{[4,5]}$. Если такую матрицу справа умножить на вектор приоритетов верхнего уровня иерархии (2), то мы и получим требуемый результат, т.е. вектор-столбец, компоненты которого ранжированы относительно поставленной в задаче цели. Получим следующий вектор-столбец

$$\begin{pmatrix} 0,238 & 9,484 & 0,111 & 0,385 \\ 0,238 & 0,081 & 0,576 & 0,385 \\ 0,048 & 0,081 & 0,111 & 0,077 \\ 0,238 & 0,273 & 0,111 & 0,077 \\ 0,238 & 0,081 & 0,111 & 0,077 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,547 \\ 0,287 \\ 0,121 \\ 0,045 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,300 \\ 0,240 \\ 0,066 \\ 0,225 \\ 0,170 \end{pmatrix}.$$

Полученный здесь результат означает, что для принятия решений о целесообразности приобретения ВМ покупателем между всеми рассматриваемыми альтернативами $x_i \in X$, $i=1(1)5$ выявляет следующие отношения строгого предпочтения.

$$x_1 \succ x_2 \succ x_4 \succ x_5 \succ x_3 \quad (11)$$

и определена мера общей оценки их качества, адекватная рассмотренной в задаче ситуации, и задаваемая следующим обобщающим вектором (с округлением элементов вектора до сотых долей).

$$\langle 0,30; 0,24; 0,23; 0,17; 0,07 \rangle.$$

Принятие решения о приобретении ВМ модели Grundig VS 900 как лучшего по потребительским свойствам не вызывает сомнений.

Задание на работу

1. Для варианта задания (см.приложение):

- построить иерархия , начиная с вершины (цели), через промежуточные уровни (критерии) к нижнему уровню (альтернативы);
- построить множество парных сравнений для каждого из нижних уровней – по одной матрице для каждого элемента принимающего сверху уровня;
- после проведения всех парных сравнений определить согласованность суждений;

Выше описанные процедуры провести для всех уровней в иерархии.

2. Провести расчета приоритетности критериев выбора и альтернатив.

Контрольные вопросы

1. Что такое метод анализа иерархий?
2. Как строится шкала отношений МАИ?
3. Опишите процедуру определения приоритетов.

4. Постройте иерархию общей оценки качества пяти моделей
5. Что необходимо сделать чтобы получить общее ранжирование в иерархии?

лабораторная работа №3

Разработка экспертной системы

1 Цель работы

Целью работы является изучение принципов программирования простейших экспертных систем.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Структура экспертной системы

Под **экспертной системой (ЭС)** понимают набор программ, выполняющий функции эксперта при решении задач из некоторой предметной области. ЭС выдают советы, проводят анализ, дают консультации, ставят диагноз.

Главным достоинством ЭС, определяющим сравнительно высокий интерес к ним как к методам искусственного интеллекта, является возможность накопления знаний и сохранение их длительное время. В отличие от человека к любой информации ЭС подходят объективно, что улучшает качество проводимой экспертизы. При решении задач, требующих обработки большого объема знаний, возможность возникновения ошибки при переборе очень мала.

Структура традиционной **статической** ЭС включает следующие основные компоненты /1/ (рисунок 1):

- решатель (интерпретатор),
- рабочую память,
- базу знаний,
- компонент приобретения знаний,
- объяснительный компонент,
- диалоговый компонент.

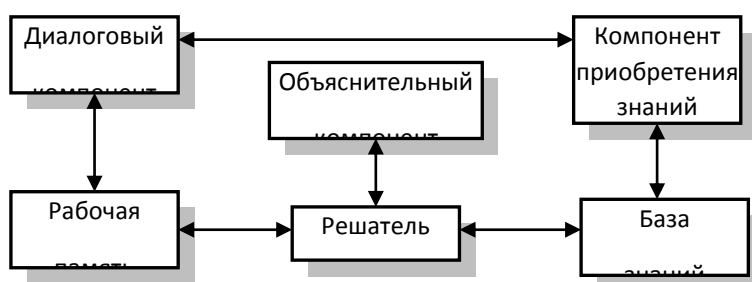


Рисунок 1 – Структура ЭС

В **базе знаний** содержатся факты, на основе которых производится выработка решения. **Решатель** – алгоритм, программа, набор правил, по которым осуществляется решение задачи. Процесс рассуждений реализуется на основе базы знаний и рабочей памяти. Решатель выполняет две функции: во-первых, просмотр существующих фактов из рабочей памяти и правил из базы знаний и добавление (по мере возможности) в рабочую память новых фактов и, во-вторых, определение порядка просмотра и применения правил. Одним из распространенных алгоритмов решателя является **байесовский алгоритм**, описанный в подразд. 3.2. На **диалоговый компонент** возложена задача ведения диалога о решаемой задаче на языке пользователя (эксперта). **Компонент приобретения знаний** как программный модуль может в ЭС отсутствовать. Его задача – приобретать в ходе диалога новые знания. Наличие **объяснительного компонента** дает ЭС способность при решении задачи следовать линии рассуждений, понятной пользователю (эксперту), и объяснять ход рассуждений.

Система функционирует в следующем циклическом режиме:

- 1 Диалоговый компонент запрашивает данные или результатов анализов, наблюдений (этот этап может быть реализован в виде системы вопросов к пользователю) и помещает их в рабочую память.
- 2 Решатель интерпретирует результаты с помощью правил, извлеченных из базы знаний.
- 3 В случае нехватки информации для окончательного решения процесс продолжается до тех пор, пока не поступит достаточное количество информации.

В любой момент времени в системе существуют три типа знаний:

- статические знания о предметной области, после того как эти знания выявлены, они уже не изменяются;
- динамические знания о предметной области, они обновляются по мере выявления новой информации;
- рабочие знания - знания, применяемые для решения конкретной задачи или проведения консультации.

Все перечисленные выше знания хранятся в базе знаний. Для ее построения требуется провести опрос специалистов, являющихся экспертами в конкретной предметной области, а затем систематизировать, организовать и снабдить эти знания указателями, чтобы впоследствии их можно было легко извлечь из базы знаний. ²

Динамическая ЭС отличается от статической наличием двух дополнительных компонентов [1]:

- подсистемы моделирования внешнего мира;
- подсистемы связи с внешним окружением, осуществляющей связь с внешним миром посредством датчиков и контроллеров.

2.2 Продукционные системы

База знаний - наиболее важная компонента экспертной системы, на которой основаны ее «интеллектуальные способности». Существует несколько способов представления знаний в ЭС, однако общим для всех них является то, что знания представлены в символьной форме (элементарными компонентами представления знаний являются тексты, списки и другие символьные структуры). Тем самым в ЭС реализуется принцип символьной природы рассуждений, который заключается в том, что процесс рассуждения представляется как последовательность символьных преобразований.

Наиболее распространенный способ представления знаний - в виде конкретных **фактов** и **правил**, по которым из имеющихся фактов могут быть выведены новые. Факты представлены, например, в виде троек:

(АТРИБУТ ОБЪЕКТ ЗНАЧЕНИЕ).

Такой факт означает, что заданный объект имеет заданный атрибут (свойства) с заданным значением. В более простых случаях факт выражается неконкретным значением атрибута, а каким-либо простым *утверждением*, которое может быть *истинным* или *ложным*.

Наиболее простым с точки зрения построения и широко используемым типом моделей принятия решений являются **продукционные системы (ПС)**. Они представляют собой структурированные наборы **продукционных правил (ПП)** вида

$$PR = \langle S, N, F, A \Rightarrow C, W \rangle,$$

где S - сфера применения данного правила; N - номер или имя правила; F - предусловие применения (условие активизации), содержащее информацию об истинности и приоритетности данного правила; $A \Rightarrow C$ - ядро ПП; W - постусловие.

Сфера применения \S обозначает принадлежность ПП какому-либо определенному этапу функционирования ПС или состоянию процесса принятия решения.

В состав правил могут входить условия активизации F , которые представляют собой либо переменную, либо логическое выражение (предикат).

Когда F принимает значение «истина», ядро продукции может быть активизировано. Если F «ложно», то ядро не активизируется.

Постусловие W описывает, какие изменения следует внести в ПС, и актуализируется только после того, как ядро продукции реализовалось.

Интерпретация ядра может быть различной в зависимости от вида A и C, находящихся по разные стороны знака секвенции « \Rightarrow ». Наиболее часто в ПС используют ПП вида

«если A, то C»,

где A и C - логические выражения, которые могут включать в себя другие выражения; A называется **антецедентом**, C - **консеквентом**.

Прежде всего, все ядра делятся на два типа: **детерминированные** и **недетерминированные**. В детерминированных ядрах при актуализации ядра и при выполнимости A правая часть ядра выполняется обязательно («если A, то C»); в недетерминированных ядрах C может выполняться с определенной вероятностью. Недетерминированное ядро может выглядеть так:

«если A, то возможно C».

Возможность может определяться некоторыми оценками реализации ядра. Например, если задана вероятность выполнения C при актуализации A, то ПП может быть таким:

«если A, то с вероятностью P выполнить C».

Оценка реализации ядра может быть лингвистической, связанной с лингвистической переменной:

«если A, то с большей долей уверенности возможно C».

К недетерминированным ПП относятся т.н. прогнозирующие ПП, в которых описываются, например, последствия, ожидаемые при актуализации A:

«если A, то с вероятностью P можно ожидать C».

Таким образом, секвенция « \Rightarrow »⁴ в детерминированных ядрах реализуется с необходимостью, а в недетерминированных - с возможностью.

Детерминированные ПП могут быть **однозначными** и **альтернативными**. Во втором случае в правой части ядра указываются альтернативные возможности выбора, которые оцениваются специальными весами выбора. В качестве таких весов могут использоваться вероятностные, лингвистические, экспертные и прочие оценки.

ПП могут быть доопределены логическими выражениями, определяющими иницилируемые процедуры, которые имеют место в случае отсутствия ее активности:

«если A , то C_1 , иначе C_2 ».

Продукционные правила, используемые в СУ, учитывают накладываемые ограничения, а также показатели эффективности, по которым определяются управляющие воздействия и которые часто являются неизмеряемыми лингвистическими переменными.

Достоинствами ПС являются:

- удобство описания процесса принятия решения экспертом (формализация его интуиции и опыта);
- простота редактирования модели;
- прозрачность структуры.

ПС в качестве моделей применимы в следующих случаях:

- не могут быть построены строгие алгоритмы или процедуры принятия решений, но существуют эвристические методы решения;
- существует, по крайней мере, один эксперт, который способен явно сформулировать свои знания и объяснить свои методы применения этих знаний при принятии решения;
- пространство возможных решений относительно невелико (число решений счетно);
- задачи решаются методом формальных рассуждений;
- данные и знания надежны и не изменяются со временем.

3 Экспериментальная часть

3.1 Задания, порядок выполнения работы и содержание отчета

Работа выполняется в два этапа. При выполнении первого этапа лабораторной работы используется программа **Mini Expert System** («Малая экспертная система» вер. 1.0), описание работы с которой приведено ниже. Для второго этапа работы используется расширение **Fuzzy Logic Toolbox** пакета **MATLAB**.

Общее задание на лабораторную работу:

1 этап. В соответствии с вариантом составить список вопросов, необходимых для получения определенного решения и список вариантов ответов. Списки оформить в виде текстового файла с расширением **.DAT** (см. примеры из программы **Mini Expert System**).

Отладить экспертную систему, проверить ее работоспособность на примерах.

2 этап. Разработать экспертную систему оценки знаний экзаменуемого в соответствии с заданием. Для работы использовать расширение **Fuzzy Logic Toolbox** пакета **MATLAB** (описание приводится).

Содержание отчета по **первому этапу** работы:

- задание,
- списки вопросов и вариантов ответов (распечатка .DAT-файла),
- протоколы проверки работоспособности на примерах.

Содержание отчета по **второму этапу** работы:

- задание,
- продукционные правила разработанной экспертной системы,
- тип и интервалы определенности функций принадлежности входных и выходной переменной;
- протоколы проверки работоспособности на примерах.

Варианты заданий **на первый этап** работы:

Вариант 1. Идентификация типа транспортного средства (велосипед, мотоцикл, мотороллер, телега, карета, автобус, грузовик, легковые: пикап, седан, хэтчбек, кабриолет...).

Вариант 2. Проведение летнего отдыха (дома, в саду, в пешем походе, в местном санатории, на Черном море, на Средиземном море, в круизе на теплоходе, на горном курорте, в африканских странах и т.д.).

Вариант 3. Выбор принтера (или к.-л. другой техники по выбору) для покупки (матричного, струйного, лазерного).

Вариант 4. Где поужинать^б вечером? (дома, у друзей, в столовой, в кафе, в ресторане, в клубе).

Вариант 5. Выбор телевизора для дома (диагональ, тип, цена, марка и т.д.).

Вариант 6. Покупка квартиры в г. Уфе (цена, площадь, престижность района, экологическая ситуация в районе, транспорт, тип дома и т.д.).

Вариант 7. Идентификация заглавных букв греческого алфавита.

Вариант 8. Идентификация садовых растений (огурцы, томаты, лук, яблоня, вишня, смородина, крыжовник и т.д.).

Задание на **второй этап** работы.

Разработать экспертную систему оценки знаний по результатам ответа на экзаменационный билет. Билет содержит два теоретических вопроса и одно практическое задание. При неудовлетворительной оценке за практическое задание общая оценка за экзамен признается неудовлетворительной. Знания по

каждому вопросу билета и на весь билет оцениваются по 4-бальной шкале – неудовлетворительно, удовлетворительно, хорошо, отлично.

3.2 Разработка экспертной системы в программе Mini Expert System

3.2.1 Подготовка базы знаний

Программа Mini Expert System представляет собой простую экспертную систему, использующую байесовскую систему логического вывода. Она предназначена для проведения консультации с пользователем в какой-либо прикладной области (на которую настроена загруженная база знаний) с целью определения вероятностей возможных исходов и использует для этого оценку правдоподобности некоторых предпосылок, получаемую от пользователя.

На первом этапе создания базы знаний необходимо сформулировать знания о рассматриваемой области в виде двух наборов: $Q = \{q_j\}$ – набор вопросов (симптомов, свидетельств) и $V = \{v_i\}$ – набор вариантов исхода (вариантов решения), а также двух матриц вероятностей: $P_y = \{p_{y_{ij}}\}$ и $P_n = \{p_{n_{ij}}\}$ размером $m \times n$, где $p_{y_{ij}}$ – вероятность получения положительного ответа на j -й вопрос, если i -й исход верен; $p_{n_{ij}}$ – вероятность получения отрицательного ответа на j -й вопрос, если i -й исход верен; n и m – количества вопросов и исходов соответственно. Кроме того, каждому исходу ставится в соответствие априорная вероятность данного исхода P_i , т.е. вероятность исхода в случае отсутствия дополнительной информации.

В процессе работы ЭС решатель, пользуясь данными наборами и матрицами и теоремой Байеса, определяет апостериорную вероятность каждого исхода, то есть вероятность, скорректированную в соответствии с ответом пользователя на каждый вопрос:

- при положительном ответе $P_{\text{апостер.}} = \frac{P_{y_{ij}} \cdot P_i}{P_{y_{ij}} \cdot P_i + P_{n_{ij}} \cdot (1 - P_i)}$,

- при отрицательном ответе $P_{\text{апостер.}} = \frac{(1 - P_{y_{ij}}) \cdot P_i}{(1 - P_{y_{ij}}) \cdot P_i + (1 - P_{n_{ij}}) \cdot (1 - P_i)}$,

- при ответе «не знаю» апостериорная вероятность равна априорной.

То есть вероятность осуществления некой гипотезы при наличии определенных подтверждающих свидетельств вычисляется на основе априорной вероятности этой гипотезы без подтверждающих свидетельств и вероятностей осуществления свидетельств при условиях, что гипотеза верна или неверна.

Исходная информация оформляется в виде текстового файла с расширением .DAT со следующей структурой:

Описание базы знаний, имя автора, комментариев и т.д.

(можно в несколько строк; эта информация выводится после загрузки базы знаний; данная секция заканчивается после первой пустой строки)

Вопрос № 0 (любой текст, заканчивающийся переносом строки)

Вопрос № 1

Вопрос № 2

...

Вопрос № N (после последнего вопроса следует одна пустая строка, и вторая секция заканчивается)

Исход № 0, P [, i, P_y, P_n]

Исход № 1, P [, i, P_y, P_n]

Исход № 2, P [, i, P_y, P_n]

...

Исход № M, P [, i, P_y, P_n]

В последней секции перечисляются исходы и соответствующие им элементы матриц вероятностей. Каждый исход задаётся в отдельной строке, перечисление заканчивается с концом файла.

В начале описания правила вывода задаётся исход, вероятность которого меняется в соответствии с данным правилом. Это текст, включающий любые символы, кроме запятых. После запятой указывается априорная вероятность данного исхода P. После этого через запятую идёт ряд повторяющихся полей из трёх элементов. Первый элемент i – номер соответствующего вопроса. Следующие два элемента P_{yij} и P_{nij} – соответственно вероятности получения ответа «Да» на этот вопрос, если возможный исход верен и неверен. Эти данные указываются для каждого вопроса, связанного с данным исходом.

Примечание: $P \leq 0.00001$ считается равной нулю, а $P \geq 0.99999$ – единице, поэтому не следует указывать такие значения – исход с подобной априорной вероятностью обрабатываться не будет.

Например:

Грипп, 0.01, 1,0.9,0.01, 2,1,0.01, 3,0,0.01

Здесь сказано: существует априорная вероятность $P = 0,01$ того, что любой наугад взятый человек болеет гриппом.

Первому вопросу (i = 1) соответствует запись «1,0.9,0.01». Отсюда следуют значения $P_{y11} = 0,9$ и $P_{n11} = 0,01$, которые означают, что если у пациента грипп, то он в девяти случаях из десяти ответит «Да» на этот вопрос, а если у него нет гриппа, он ответит «Да» лишь в одном случае из ста (т.е. данный симптом встречается довольно редко при других болезнях). Ответ «Да»

подтверждает гипотезу о том, что у него грипп. Ответ «Нет» позволяет предположить, что человек гриппом не болеет.

При положительном ответе «Да» (+5) на первый вопрос апостериорная вероятность для рассматриваемого примера составит:

$$P_{\text{апостериор}} = \frac{P_{y_{ij}} \cdot P_i}{P_{y_{ij}} \cdot P_i + P_{n_{ij}} \cdot (1 - P_i)} = \frac{0.01 \cdot 0.9}{0.01 \cdot 0.9 + (1 - 0.01) \cdot 0.01} = 0,47619.$$

При отрицательном ответе «Нет» (-5) на первый вопрос апостериорная вероятность для рассматриваемого примера составит:

$$\begin{aligned} P_{\text{апостериор}} &= \frac{(1 - P_{y_{ij}}) \cdot P_i}{(1 - P_{y_{ij}}) \cdot P_i + (1 - P_{n_{ij}}) \cdot (1 - P_i)} = \\ &= \frac{(1 - 0.9) \cdot 0.01}{(1 - 0.9) \cdot 0.01 + (1 - 0.9) \cdot (1 - 0.01)} = 0,00102. \end{aligned}$$

При ответе «Не знаю» (0) апостериорная вероятность исхода равна априорной: $P_{\text{апостериор}} = P_i$.

При промежуточном ответе h (от -5 до 0 и от 0 до +5) апостериорная вероятность рассчитывается с учетом степени уверенности принадлежности признака и рассчитывается линейной интерполяцией от значений утвердительных ответов «Да», «Нет», «Не знаю».

При отрицательном ответе (-5;0):

$$P_{\text{апостериор}} = P_i + (P_i - P_{\text{апостериор}}(\text{«Нет»})) \cdot \frac{h}{5}.$$

Например, при ответе $h = -3$:

$$P_{\text{апостериор}} = 0.01 + (0.01 - 0.00102) \cdot \frac{-3}{5} = 0,00461.$$

При отрицательном ответе (0;+5):

$$P_{\text{апостериор}} = P_i + (P_{\text{апостериор}}(\text{«Да»}) - P_i) \cdot \frac{h}{5}.$$

Например, при ответе $h = +3$:

$$P_{\text{апостериор}} = 0.01 + (0.47619 - 0.01) \cdot \frac{3}{5} = 0,28971.$$

Для второго вопроса имеем запись «2,1,0.01». То есть, если у человека грипп, то этот симптом обязательно должен присутствовать ($P_{y_{i2}} = 1$) и он обязательно ответит «Да». Соответствующий симптом может иметь место и при отсутствии гриппа ($P_{n_{i2}} = 0,01$), но это маловероятно. ♦

Примечание: При большом количестве вопросов нет необходимости в каждой строке последней секции перечислять их все, тем более если ответ на какой-либо вопрос не влияет на вероятность данного исхода.

3.2.2 Работа с программой Mini Expert System

Запускающим файлом программы является MiniES.exe. После запуска появляется диалоговое окно (см. рисунок 2), кнопки на котором выполняют функции: «Загрузить базу знаний» - загрузка заранее подготовленного .DAT-файла; «Начать консультацию» - запуск решателя, ответы на задаваемые вопросы вводятся в нижнее поле по шкале от -5 (однозначно нет) до 5 (однозначно да).

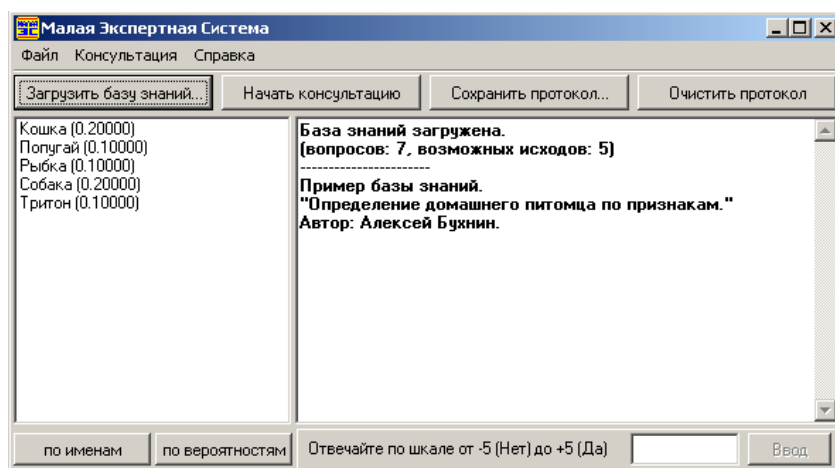


Рисунок 2 – Диалоговое окно программы Mini Expert System

3.3 Продукционная экспертная система в среде MATLAB

Перед началом разработки экспертной системы с использованием инструментальных средств **MATLAB** необходимо разработать продукционную систему (продукционные правила), которые будут использоваться при выводе. Правила имеют следующую структуру:

ЕСЛИ (1 воп. – хор) и (2 воп. – хор) и (3 воп. –хор), ТО (оцен. – хор.);
ЕСЛИ (1 воп.–хор) и (2 воп. –хор) и (3 воп.–неуд.), ТО (оцен. – неуд.);
ЕСЛИ (1 воп.–отл.) и (2 воп.–отл.) и (3 воп.–уд.), ТО (оцен. – хор.);
и т. д.

Вывод каждого правила определяется субъективными представлениями эксперта.

Разрабатываемая экспертная система оценки ответа на экзаменационный билет в среде расширения **Fuzzy Logic Toolbox** пакета **MATLAB** использует в своем выводе элементы теории нечетких множеств.

Редактор **Fuzzy Logic Toolbox** запускается командой **fuzzy** из командной строки пакета **MATLAB**. Новая система с выводами по Мамдани задается командой *File/New FIS/Mamdani*.

По заданию оценивается билет из трех вопросов, поэтому на входе системы должны быть заданы три входа. Входы добавляются последовательно (*Edit/Add Variable.../Input*) после конфигурирования каждого предыдущего входа. Конфигурирование¹ заключается в определении функции степени принадлежности, назначении интервалов определенности и названия.

В рассматриваемой задаче диапазон изменения входной переменной (поле *Range*, окно *Member Function Editor*) назначается от 0 до 5. Всего задаются 4 функции принадлежности. Каждой функции определяется название – n (неуд.), ud (удовл.), hor (хор.), ot (отл.). Тип функции принадлежности – трапецевидная (*trpmf*), с границами, например, как на рисунке 3. (можно задаться другим видом функции степени принадлежности).

Аналогично определяется выходная переменная. Вход в режим редактирования входной переменной производится двойным нажатием левой клавиши мыши. Добавление функции принадлежности – *Edit/Add MFs...*

Для наполнения базы знаний входят в режим ввода правил (*Edit/Rules*). Разработанные продукционные правила последовательно вводятся (*Add rule*) в систему вывода.

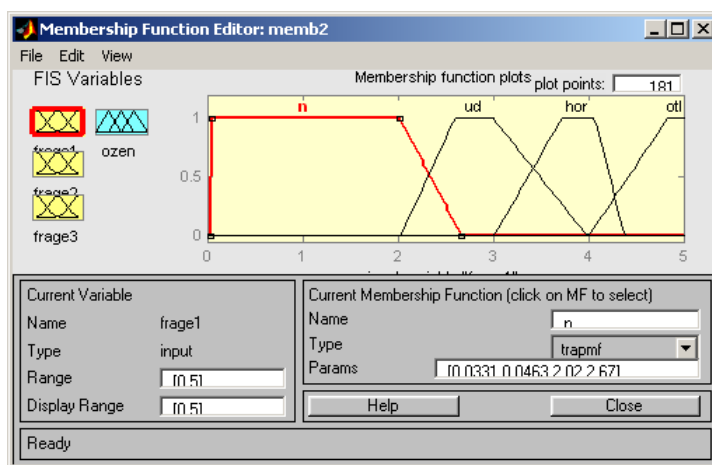


Рисунок 3 – Формы функций степени принадлежности

Для работы с созданной экспертной системой нужно из окна редактора правил (*Rule Editor*) перейти в окно вывода (*Rule Viewer*) *View/Rules*. Входными переменными является оценка за ответ каждого вопроса по 5-бальной шкале. Значения входных переменных вводятся в поле *Input*. Общая оценка ответа согласно вывода выводится в верхней части экране (синим цветом).

4 Контрольные вопросы

- 1 Что такое экспертная система?
- 2 Как функционирует экспертная система? Какие функции выполняет каждый элемент системы?
- 3 К какому типу относятся ядра продукций в разработанной Вами ЭС?
- 4 Приведите пример одного продукционного правила, соответствующего разработанной базе знаний.
- 5 Как осуществляется приобретение знаний в разработанной ЭС?
- 6 В чем отличие однозначных и альтернативных продукционных правил?
- 7 В чем достоинства и недостатки представления знаний в виде продукционных систем?

Список литературы:

1. Введение в математическое моделирование : учебное пособие / ред. П. В. Трусков. – Москва : Логос, 2004. – 439 с. –URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84691> (дата обращения: 15.11.2022). – Режим доступа : по подписке. – Текст : электронный.
2. Березовская, Е. А. Системы поддержки принятия решений : учебное пособие / Е. А. Березовская, С. В. Крюков. - Ростов-на-Дону, Таганрог : Южный федеральный университет, 2020. - 128 с. - URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612165> (дата обращения 04.11.2022) . - Режим доступа : по подписке. - Текст : электронный.
3. Горелик, В. А. Теория принятия решений: учебное пособие для магистрантов / В. А. Горелик. – Москва : Московский педагогический государственный университет (МПГУ), 2016. – 152 с. –URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=472093> (дата обращения: 15.11.2022). – Режим доступа : по подписке. – Текст : электронный.
4. Граецкая, О. В. Информационные технологии поддержки принятия решений : учебное пособие / О. В. Граецкая, Ю. С. Чусова. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2019. – 131 с. –URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=577758> (дата обращения: 15.11.2022). – Режим доступа : по подписке. –Текст : электронный.
5. Соловьев, Н. Основы теории принятия решений для программистов : учебное пособие / Н. Соловьев, Е. Чернопрудова, Д. А. Лесовой. - Оренбург : ОГУ, 2012. - 187 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270301> (дата обращения 29.08.2022) . - Режим доступа : по под писке. - Текст : электронный.