

## МЕТОД РАНЖИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ АЛЬТЕРНАТИВ, В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ

*В работе проанализированы проблемы, возникающие в процессах передачи информации, а также при разработке интеллектуальных информационных систем обработки информации. Особое внимание уделено вопросу обработки нечетких экспертных мнений. Показано, что для данного типа входных данных проблемы возникают при получении группового мнения и при упорядочивании результатов. Решение поставленных задач выполнялось с использованием теории нечетких множеств.*

*Ключевые слова: нечеткая экспертная информация, нечеткая логика, ранжирование альтернатив.*

YULIA VIKTOROVNA ULIANOVSKAYA

Ukrainian Academy of Customs

### RANKING METHOD FUZZY ALTERNATIVES, TRANSMISSION AND PROCESSING OF INFORMATION IN COMPUTER SYSTEMS

**Abstract.** *The goal of this research is to develop a ranking method of alternatives derived from processing and presenting of fuzzy expert information using the methods of fuzzy logic. The class of problems solved by the automated systems using expert information is analyzed in this article to achieve the stated goal. As the expert information in most cases is a combination of qualitative and quantitative characteristics, it is incomplete and fuzzy. The fuzzy sets theory device has been selected to process these data. The fuzzy expert space has been constructed in accordance with the main provisions of this theory. The matrix method of presenting the expert information has been offered. The general expert estimations have been obtained using the methods of cluster analysis. They have been arranged according to the values of functions of belonging to the set terms. The numerical testing of the offered methods has been performed. The results achieved during this research allow, in contrast to existing methods, to consider the opinion of each expert avoiding artificial averaging of the results and giving an opportunity to receive general opinion of experts as ordered alternatives.*

*Keywords: fuzzy expert information, fuzzy logic, ranking of alternatives*

**Введение.** Процессы передачи, обработки и хранения информации занимают важное место в повседневной жизни общества. Своевременность и точность получения информации влияет на процессы принятия решений. Поэтому возникает необходимость в определении таких характеристик каналов передачи данных как скорость передачи информации, пропускная способность и т.д. Однако возникают проблемы при определении таких плохо формализуемых параметров как помехоустойчивость, надежность каналов передачи информации и других. Зачастую, при невозможности точных оценок характеристик каналов передачи информации, прибегают к экспертным оценкам. Большую роль при решении указанных проблем играют интеллектуальные системы, такие как системы поддержки принятия решений, экспертные системы и др. Преимуществом данных систем является их способность работать в условиях неполноты информации. При этом возникает проблема оценки возможности принятия решений в описанных условиях. В работе [1] предложен метод определения коэффициента возможности принятия решений в автоматизированных интеллектуальных системах в зависимости от количества и важности недостающей информации. Разработанный метод использует данные, полученные от экспертов. На основе экспертных данных работают и интеллектуальные системы, которые необходимы при решении специфических задач, возникающих перед органами государственной службы, в частности задач классификации и определения стоимости товаров и объектов таможенного контроля [2, 3]. Экспертная информация при этом является совокупностью качественных и количественных признаков, а также характеризуется неполнотой и нечеткостью. В связи с этим актуальным является вопрос обработки таких данных. В работе [4] отмечается, что классические методы математической статистики не всегда дают адекватный результат. В частности проблемы возникают при попытке усреднения мнений экспертов. Статистические методы проверки согласованности зависят от математической природы ответов экспертов. Соответствующие статистические теории весьма трудны, если эти ответы ранжировки или разбиения, и достаточно просты, если ответы – результаты независимых парных сравнений. Анализируя выше сказанное, можно сделать вывод, что не смотря на широкое развитие методов экспертных оценок, ряд вопросов, связанных с нечеткими экспертными оценками, остаются открытыми. Не достаточно разработаны методы сравнительной оценки методов экспертного оценивания, обработки и получения группового мнения, а также методы ранжирования нечетких альтернатив.

**Анализ предыдущих исследований.** Наиболее известными и часто используемыми для обработки нечетких данных в интеллектуальных автоматизированных системах являются метод коэффициентов уверенности, теория Демпстера-Шефера, субъективный байесовский метод, вероятностная логика, теория нечетких множеств [5]. Методы, используемые в настоящее время для получения и обработки экспертных оценок, достаточно многочисленны и разнообразны. Выбор метода определяется характером анализируемой информации. Для получения качественных оценок используются парные сравнения, множественные сравнения, методы ранжирования и т.д. Для получения количественных оценок используются непосредственная численная оценка альтернатив, метод Черчмена – Акофа и др. Применение методов

анализа и обработки экспертной информации зависит от характера измерений. Некорректное использование результатов экспертного оценивания может привести к ошибочным выводам. Избежать ошибок можно лишь исследовав характер измерений и обусловленные им возможные методы преобразования полученной экспертной информации. В работах Л.Д. Мешалкина, А.И. Орлова, В.Б. Кузьмина, Б.Г. Литвака исследуется проблема допустимости использования различных результатов экспертного ранжирования.

**Целью данной работы** является разработка метода ранжирования альтернатив, полученных в результате обработки и представления нечеткой экспертной информации с помощью методов нечеткой логики.

**Постановка задачи.** Пусть имеется  $n$  экспертов  $X = \{x_i\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ . Экспертам предлагается оценить множество  $A = \{a_j\} = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$  альтернатив, определяя их значениями терм – множества  $T^j = \{t_1^j, a_2^j, \dots, a_{k_j}^j\}$ .

Определим оптимальное множество лингвистических значений альтернатив следующим образом. Пусть относительно альтернативы  $a_j$  имеем терм-множество  $T_i^j = \{t_{i1}^j, t_{i2}^j, \dots, t_{ik_j}^j\}$  лингвистических значений, сформированного экспертом  $x_i$ . Тогда  $T^j = \bigcap_i T_i^j, i=1, \dots, n$ . Эксперт при этом указывает число  $\mu$  из интервала  $[0;1]$ , характеризующее степень соответствия альтернативы  $a_j$  выбранному терму  $t_k^j$ . В этом случае получим дискретную функцию принадлежности, построенную прямым методом. Мнения экспертов при этом могут совпадать либо быть не согласованными. Возникает вопрос об обработке полученных данных.

**Решение задачи.** На сегодняшний день разработано достаточно много методов получения знаний от эксперта и обработки этих знаний с целью построения функций принадлежности. Все методы можно разделить на прямые и косвенные методы, а также на методы для одного эксперта и методы для группы экспертов. Одним из прямых методов для получения исходных данных является прямой метод для группы экспертов, который состоит в следующем [4]. Пусть есть  $n$  экспертов, часть из которых на вопрос о принадлежности элемента  $x \in X$  нечеткому подмножеству  $\tilde{A}$  отвечают положительно. Обозначим их число через  $n_1$ . Вторая часть экспертов, а именно  $n_2 = n - n_1$ , отвечает на этот вопрос отрицательно. Тогда принимается, что  $\mu_A(x) = n_1/n$ . В описанной процедуре фаззификации для полного задания лингвистической переменной необходимо построение функции принадлежности  $\mu_A(x)$  всех нечетких множеств, которые задают и другие нечеткие значения из терм – множества лингвистической переменной. Степень принадлежности имеет в результате вероятностную интерпретацию. Функция принадлежности должна быть нормализована, т.е. верхняя граница функции принадлежности должна быть равна единице:  $\sup_{x \in X} \mu_A(x) = 1$ .

Сформируем мнения экспертов, полученные описанной выше процедурой, относительно каждой альтернативы  $a_j$  в матрицу  $n \times k_j$ .

$$M_{jT^j}^i = \begin{array}{c|cccc} & t_1^j & t_2^j & \dots & t_{k_j}^j \\ \hline x_1 & \mu_1^1(a_j) & \mu_2^1(a_j) & \dots & \mu_{k_j}^1(a_j) \\ x_2 & \mu_1^2(a_j) & \mu_2^2(a_j) & \dots & \mu_{k_j}^2(a_j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n & \mu_1^n(a_j) & \mu_2^n(a_j) & \dots & \mu_{k_j}^n(a_j) \end{array} \quad (1)$$

где  $x_1, \dots, x_n$  – эксперты,

$t_k^j$  – терм,

$\mu_k^i(a_j)$  – функция принадлежности.

Для простоты обозначим  $\mu_k^i(a_j) = \mu_{jk}^i$  – значение функции принадлежности альтернативы  $a_j$  терму  $t_k^j$  в соответствии с мнением  $x_i$ -го эксперта.

При таком подходе необходимо учитывать компетентность экспертов, однако в прямых методах построения функции принадлежности для группы экспертов деликатно обходится вопрос о том, кто же назначает весовые коэффициенты оценкам экспертов. Одним из методов решения этого вопроса можно использовать частоту правильных оценок эксперта, основанную на статистических данных. Пусть  $x_i$  эксперт принимал участие в  $N$  экспертизах, причем в  $M$  из них его результаты были правильными. Тогда вес  $x_i$  эксперта обозначим через  $w_i = M/N$ , при этом  $0 \leq w_i \leq 1$ .

Таким образом, в соответствии с обозначениями нечеткой алгебры каждая альтернатива будет задана выражением

$$a_j = (T^j, \mu_T(a_j), w^j) \tag{2}$$

где  $a_j$  – альтернатива,

$T^j$  – терм-множество лингвистических значений альтернативы  $a_j$ ,

$\mu_T(a_j)$  – множество функций принадлежности,

$w^j$  – средний вес экспертного мнения относительно альтернативы  $a_j$ .

Введем несколько условий для выражения (1):

$$\exists k' : k \leq k' \leq k_j, \sum_{i=1}^n \mu_{jk'}^i \neq 0, \sum_{i=1}^n \mu_{jk}^i = 0, k \neq k' \tag{3}$$

$$\exists t_k^j : \max_{i,h} (\mu_{jk}^i - \mu_{jk}^h) \leq 0.5 \tag{4}$$

Если выполняются условия (3) и (4), то спроектировав оценки на ось  $(\mu, T)$  получим достаточно хорошо сгруппированные мнения и функции принадлежности имеют один центр кластеризации. В этом случае будем называть оценку экспертов согласованной. Если при тех же условиях центров несколько, то оценку экспертов будем называть условно согласованной. Мнения экспертов будем считать не согласованными, если имеется несколько ненулевых столбцов.

Построенное выше пространство назовем экспертным пространством и будем обозначать его через  $A_n^m$ , каждая точка которого  $a_i^j$  – оценка  $x_i$ -м экспертом  $a_j$ -й альтернативы описывается вектором  $a_i^j = (t_k^j, \mu_{jk}^i, w_i^j)$ .

Рассмотрим способы обработки экспертных мнений и получения группового мнения. Отметим, что в процессе оценки эксперт может испытывать затруднения, которые выражаются в невозможности отнести оценку альтернативы к одному из существующих термов и необходимости размещать ее на границе двух термов или выносить за пределы крайних термов. Пусть в первом случае оценка лежит на границе  $k$ -го и  $k+1$  терма. Тогда  $\mu_{jk}^i = 0.5$  и  $\mu_{j(k+1)}^i = 0.5$ . Во втором случае методы нечеткой алгебры позволяют расширить множество лингвистических значений признака с помощью квантификаторов следующим образом.

Для получения обобщенной оценки  $a_j$  альтернативы проведем обработку данных (1) по одному из методов кластеризации с заданием количества кластеров, соответствующих количеству термов, в которых лежат значения альтернативы. Поскольку каждой альтернативе соответствует своя матрица, после ее обработки предложенным выше способом получим представление альтернативы в виде

$$a_j = \{ \langle \mu_{j1} / t_1 \rangle, \langle \mu_{j2} / t_2 \rangle, \dots, \langle \mu_{jk_j} / t_{k_j} \rangle \}, \tag{5}$$

где  $\mu_{jk_j}$  – центр кластера, определяемый для каждого терма из множеств лингвистических значений альтернативы.

Проведя обработку для каждой из альтернатив, заданных в виде (5) можем сгруппировать их в матрицу  $A_{обр}$ :

$$A_{обр} = \begin{array}{c|cccc} & t_1 & t_2 & \dots & t_k \\ \hline a_1 & \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1k} \\ a_2 & \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & \mu_{n1} & \mu_{n2} & \dots & \mu_{nk} \end{array} \tag{6}$$

где  $\mu_{ij}$  – функция принадлежности  $t_j$  терму  $a_i$  альтернативы. Выражение (6) является матричным способом представления нечеткой экспертной информации, полученной в результате обработки мнений  $n$  экспертов.

Для каждого лингвистического значения  $t_j$  построим неубывающую последовательность  $\{a_i\}$  альтернатив, таких что:

$$\forall a_i \in \{a_i\}_{i=1}^n : a_i \geq a_{i+1} \leftrightarrow \mu_{ij} \geq \mu_{i+1j} \tag{7}$$

В построенной таким образом последовательности на первом месте будет находиться альтернатива

$a_i$ , которая имеет максимальную функцию принадлежности  $\mu_{ij}$  для терма  $t_j$ . Введем переменную  $kol_j(a_i)$  равную количеству появления альтернативы  $a_i$  на  $j$ -м месте последовательности (10). Сформируем матрицу  $KOL = \{kol_j(a_i)\}$ ,  $j=1,2,\dots,m$ ,  $i=1,2,\dots,n$ . Через  $kol_j^{\max}$  обозначим максимальное значение переменной  $kol_j(a_i)$  в каждом столбце:

$$kol_j^{\max} = \max_i kol_j(a_i), \quad j=1,\dots,m \tag{8}$$

Упорядочим альтернативы следующим образом. Через  $r_i$  обозначим рейтинг  $a_i$  альтернативы. Установим взаимно-однозначное соответствие между последовательностью  $\{r_i\}$  и  $\{a_i\}$  следующим образом.

$$r_i = a_i \leftrightarrow kol_j^{\max} = kol_j(a_i) \tag{9}$$

Если существует несколько альтернатив  $a_i$  и  $a_k$  которые обеспечивают выполнение выше приведенного равенства, т.е.  $kol_j^{\max} = kol_j(a_i) = kol_j(a_k) = \max_i kol_j(a_i)$ , то рассматриваем  $kol_{j-1}(a_i)$  и  $kol_{j-1}(a_k)$ . Если  $kol_{j-1}(a_i) > kol_{j-1}(a_k)$ , то  $r_i = a_i$ , в противном случае  $r_i = a_k$ . Если  $kol_{j-1}(a_i) = kol_{j-1}(a_k)$ , рассматриваем  $kol_{j+1}(a_i)$  и  $kol_{j+1}(a_k)$  и повторяем сравнение. Когда преимущество установлено, соответствующая альтернатива выбывает из сравнения. Рассмотрим  $r_1$ .

В соответствии с выражением (9)  $r_1 = a_i \leftrightarrow a_i : kol_1^{\max} = kol_1(a_i)$ .

Если существует несколько альтернатив  $a_i$  и  $a_k$  которые обеспечивают выполнение выше приведенного равенства, т.е.  $kol_1^{\max} = kol_1(a_i) = kol_1(a_k) = \max_i kol_1(a_i)$ , то рассматриваем  $kol_2(a_i)$  и  $kol_2(a_k)$ . Если  $kol_2(a_i) > kol_2(a_k)$ , то  $r_1 = a_i$ , в противном случае  $r_1 = a_k$ . Если  $kol_2(a_i) = kol_2(a_k)$ , рассматриваем  $kol_3(a_i)$  и  $kol_3(a_k)$  и повторяем сравнение. Когда преимущество установлено, соответствующая альтернатива выбывает из сравнения. Определяем  $r_2$ :  $r_2 = a_i \leftrightarrow kol_2^{\max} = kol_2(a_i), i=1,\dots,n-1$ .

Если существует несколько альтернатив  $a_i$  и  $a_k$  которые обеспечивают выполнение выше приведенного равенства, т.е.  $kol_2^{\max} = kol_2(a_i) = kol_2(a_k)$ , то рассматриваем  $kol_1(a_i)$  и  $kol_1(a_k)$ . Если  $kol_1(a_i) > kol_1(a_k)$ , то  $r_2 = a_i$ , в противном случае  $r_2 = a_k$ . Если  $kol_1(a_i) = kol_1(a_k)$ , рассматриваем  $kol_3(a_i)$  и  $kol_3(a_k)$  и повторяем сравнение. Альтернатива, преимущество которой установлено, выбывает из сравнений. Повторяем сравнение пока все альтернативы не будут упорядочены.

Проведем численную апробацию предложенного метода. Пусть для наглядности имеется шесть альтернатив  $A = \{a_j\} = \{a_1, a_2, \dots, a_6\}$  и шесть множеств лингвистических значений  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_6\}$ . Запишем альтернативы и значения функций принадлежности термов в матрицу A:

	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$
$a_1$	0,5	0,6	0,7	0,8	0	0,1
$a_2$	0,4	0,2	0	0,3	0	0,4
$a_3$	0,1	0,5	0	0,2	0,9	0,6
$a_4$	0	0,1	0,9	0,3	0,2	0,5
$a_5$	0,7	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7
$a_6$	0,1	0,9	0,4	0,3	0,8	0,6

Проведем ранжировку по каждому из значений терм множества, упорядочивая альтернативы по убыванию соответствующей функции принадлежности. Полученные последовательности сведем в таблицу 1.

Таблица 1

**Последовательности альтернатив, упорядоченных в соответствии со значениями функций принадлежности**

Терм	Альтернативы				
$t_1$ :	$a_5$ ,	$a_1$ ,	$a_2$ ,	$\langle a_3, a_6 \rangle$ ,	$a_4$
$t_2$ :	$a_6$ ,	$a_1$ ,	$a_3$ ,	$\langle a_2, a_5 \rangle$ ,	$a_4$
$t_3$ :	$a_4$ ,	$a_1$ ,	$a_6$ ,	$a_5$ ,	$\langle a_2, a_3 \rangle$
$t_4$ :	$a_1$ ,	$\langle a_2, a_4, a_5, a_6 \rangle$ ,	$a_3$		
$t_5$ :	$a_3$ ,	$a_6$ ,	$a_5$ ,	$a_4$ ,	$\langle a_2, a_1 \rangle$
$t_6$ :	$a_5$ ,	$\langle a_6, a_3 \rangle$ ,	$a_4$ ,	$a_2$ ,	$a_1$

Количество появления альтернатив в столбце соответственно приведены в матрице KOL

	kol <sub>1</sub>	kol <sub>2</sub>	kol <sub>3</sub>	kol <sub>4</sub>	kol <sub>5</sub>
a <sub>1</sub>	1	3	0	0	2
a <sub>2</sub>	0	1	1	2	2
a <sub>3</sub>	1	1	2	1	1
a <sub>4</sub>	1	1	1	1	2
a <sub>5</sub>	2	1	1	2	0
a <sub>6</sub>	1	3	1	1	0

Проанализировав полученную таблицу, упорядочим альтернативы в порядке усиления рейтинга. Самой сильной является альтернатива a<sub>5</sub>, поскольку она принимает максимальное значение функции принадлежности для двух термов (kol<sub>1</sub>=2), поэтому она имеет максимальный рейтинг и занимает первое место в упорядочивании. Альтернативы a<sub>1</sub> и a<sub>6</sub> имеют одинаковые значения переменной kol<sub>2</sub>=3, что говорит о том, эти альтернативы для трех термов имеют функции принадлежности, следующие за максимальным значением. И для одного терма имеют максимальное значение. Однако альтернатива a<sub>6</sub> имеет единицу в соседнем справа столбце, следовательно будем считать ее более сильной чем альтернатива a<sub>1</sub> и в рейтинге a<sub>6</sub> стоит перед a<sub>1</sub>. После аналогичного анализа всех столбцов матрицы альтернативы будут упорядочены в порядке убывания интенсивности значения оцениваемой характеристики следующим образом: a<sub>5</sub>, a<sub>6</sub>, a<sub>1</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>4</sub>.

**Вывод.** Решение большинства задач, связанных с процессами хранения, передачи и обработки информации связано с использованием интеллектуальных информационных систем. Развитие и внедрение в разные сферы деятельности автоматизированных интеллектуальных систем требует развития новых методов обработки данных. Поскольку работа большинства интеллектуальных систем основана на экспертной информации, которая носит нечеткий, неполный характер, разработка методов обработки такой информации является актуальной задачей. Применение классических методов к решению поставленной задачи дают не всегда адекватный результат. В данной работе предложен метод упорядочивания нечетких альтернатив с использованием математического аппарата нечетких множеств. Данный метод позволяет, в отличие от существующих методов, учитывать мнение каждого эксперта, избегая при этом искусственного усреднения результатов и получить обобщенное мнение экспертов в виде упорядоченных альтернатив. Полученные в работе результаты могут быть применены в системах поддержки принятия решений при выборе способов передачи информации, в экспертных системах классификации объектов и других предметных областях.

### Литература

1. Ульяновська Ю.В. Метод визначення коефіцієнта можливості прийняття рішення в експертних системах при неповних вхідних даних / Ульяновська Юлія Вікторівна, Мороз Борис Іванович // Вісник Академії митної служби України. – 2004. – № 4. – С. 45–51.
2. Ульяновська Ю.В. Дослідження структури об'єктів митного контролю з метою їх класифікації / Ю.В. Ульяновська // Вісник Академії митної служби України. – 2007. – № 2(13). – С. 98–102.
3. Ульяновська Ю. В. Застосування нейронних мереж для визначення митної вартості товарів / Ю. В. Ульяновська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий : научный журнал. – Харьков : Технологический центр, 2012. – № 3/3 (57). – С. 46–49.
4. Орлов А. И. Прикладная статистика : [учебник] / А.И. Орлов.– М. : «Экзамен», 2004. – 656 с.
5. Литвак Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа / Борис Григорьевич Литвак. – М. : Радио и связь, 1982. – 184 с.

### References

1. Ulianovskaya YU.V. , Moroz B. I. Definition of factor of possibility of decision-making method in expert systems at the incomplete entrance data. The bulletin of Customs Academy of Ukraine. 2004. № 4. С. 45-51.
2. Ulianovskaya YU.V. Research structure of customs control objects for their classification. The bulletin of Customs Academy of Ukraine. 2007. №2(13). P. 98-102.
3. Yu.V. Ulianovskaya. Application of neural networks for definition of customs cost of the goods. Kharkov. Eastern European journal of enterprise technologies. Technological center. 2012. Vol. 3/3 (57). P. 46-49
4. Orlov A. I. The applied statistics: the Textbook. Moscow. "Examination". 2004. 656 p.
5. Litvak B. G. The expert information: extraction and analysis methods. Moscow. Radio and communication. 1982. 184 p.

Рецензія/Peer review : 24.3.2013 р. Надрукована/Printed :7.4.2013 р.  
Рецензент: д.ф-м.н. завідувач кафедру вищої математики і інформатики  
Академії митної служби України Говоруха В.Б.