Способ нечеткого сравнения для управления функционированием организационной системы

Г.И. Акперов

Южный университет (ИУБИП), Ростов-на-Дону

Аннотация: Современные процессы цифровизации предполагают использование интеллектуальных систем на ключевых этапах этапах обработки информации. С учетом того, что доступные для интеллектуального анализа данные в организационных системах зачастую нечеткие, возникает проблема сравнения соответствующих единиц информации между собой. Известно несколько способов такого сравнения. В частности, для случайных нечетких величин с известными законами распределения, в качестве критерия соответствия одной случайной величины другой, может быть использована степень совпадения этих законов распределения. Однако такой подход не обладает необходимой гибкостью, требуемой для решения практических задач. Предлагаемый нами подход позволяет сравнивать между собой нечеткие, нечеткие и четкие, а также четкие и четкие данные. В работе приведет пример, иллюстрирующий такой подход. Материал, изложенный в исследовании, первоначально ориентировался на управляющие организационные системы в образовании. Однако его результаты могут быть распространены и на другие организационные системы.

Ключевые слова: нечеткие данные, слабоструктурированные проблемы, критерии сравнения, метод анализа иерархий, системный анализ, нечеткий бенчмаркинг.

В исследовании проведен анализ моделей и способов цифрового управления в организационной системе. Уточняются основные понятия предметной области, в частности, понятие слабоструктурированной системы. Появившиеся тенденции к цифровизации управления в организационных системах предполагают включение в контур управления компонентов с элементами искусственного интеллекта, тесно взаимодействующими с человеческим интеллектом. Речь идет о гибридном человеко-машинным интеллекте, для которого характерны так называемые НЕ-факторы: неточность, неполнота, недоопределенность, нечеткость и т.д.

Модели, описывающие эргатические системы управления (ЭСУ) и соответствующий математический аппарат используют нечеткие (мягкие) методы и вычисления. Имеются и хорошо проработаны методы мягкого (субъективного) моделирования, в частности, метод анализа иерархий (Т. Саати), когнитивное моделирование, связанное с Б. Коско, Б,В. Силовым, А.А. Кулиничем и др.

В работе введено понятие интеллектуального управляющего модуля (ИУМ) как основного компонента современной эргатической системы управления организацией. Показано, что в его задачу должно входить осуществление информационной, алгоритмической и методической поддержки деятельности лиц, принимающих решения (ЛПР) при обработке управленческой информации. В работах автора [1,2] подробно обоснованы и сформулированы требования к характеристикам, параметрам ИУМ и его компонентам.

В данном исследовании воспользуемся теоретико-множественным подходом [3,4] к выбору структуры ИУМ и его компонентов. При этом, подобно фильтрации, будем отсеивать не удовлетворяющие требованиям варианты.

Важным этапом процесса принятия решений является выбор критериев оценки, и, соответственно, оценочной функции L. Меру рассогласования [5] свойств компонентов ИУМ ($\overline{\Pi}_i$) и требований к ним ($\overline{\Pi}_T$), учитывая особенности нечетких множеств, оценим на основе взвешенного расстояния по Хэммингу (1):

$$L_i = \bar{W} \times (\overline{\Pi}_T - \overline{\Pi}_i). \qquad (1)$$

Поскольку традиционно мера рассогласования (1) не ориентирована на работу с нечеткими величинами [6], необходимо ее адаптировать к работе с нечеткими описаниями вариантов, нечеткими требованиями и уточнить процедуру настройки критерия.

Технические требования задаются в виде вектора $\bar{P}_T$, где каждая компонента – оценка требуемого значения параметра (качественного или количественного, в виде нечеткого числа [7]). Технические характеристики варианта представлены вектором $\bar{P}_i$. В это случае, выражение (1) преобразуется в (2):

$$\bar{L}_i = \bar{P}_i - \bar{P}_T. \quad (2)$$

Соответственно, $\bar{L}_i = \{l_{ij}\}$, где:

$$l_{ij} = f\left(P_{ij} - P_{Tj}\right) \quad (3)$$

Значение f (*) определяется принимаемой метрикой (Евклида, Махаланобиса, Чебышева и т.д.). При этом l_{ij} состоит из двух элементов: детерминированной l^d_{ij} и неопределенной l^f_{ij}. составляющих. Рассмотрим простейший вариант – метрику Евклида.

Графически, l^d_{ij} интерпретируется как длина отрезка, соединяющего центры тяжести функций принадлежности к множествам А и В (см. рисунок 1) с координатами (μ_a, u_a) и и (μ_b, u_b).

Оценку этой длины предлагается вычислять по формулам:

$$l_{ij}^d = \sqrt{(u_b - u_a)^2 + (\mu_b - \mu_a)^2} \quad (4)$$

$$l_{ij}^f = \sqrt{{S_a}^2 + {S_b}^2 - S_a S_b} \quad , \quad (5)$$

где S_a и S_b - площади, ограниченные функциями принадлежности к множествам А и В. Они оценивают уровень неопределенности параметров P_{Tj} и P_{ij}.

Нечеткость значения l_{ij} может быть выражена интервальным приближением:

$$l_{ij} = l_{ij}^d \pm (l_{ij}^f)2 \quad (6)$$

В частном случае, для рисунка 1 г, когда оба вектора имеют четкие значения, выражение (5) равно нулю. Рассмотрен вариант одномерной ФП и, соответственно его графическая интерпретация. Способ допускает и многомерность.

Для всех n вариантов оценки меры рассогласования можно объединить в матрицу размерности m×n, которую называют матрицей решения. Каждая строка матрицы характеризует i-й вариант по m параметрам.

Уровень относительной неопределенности оценки l_{ij} определяется по формуле:

$$\delta l_{ij} = l_{ij}^{f} l_{ij}^{d}. \tag{7}$$

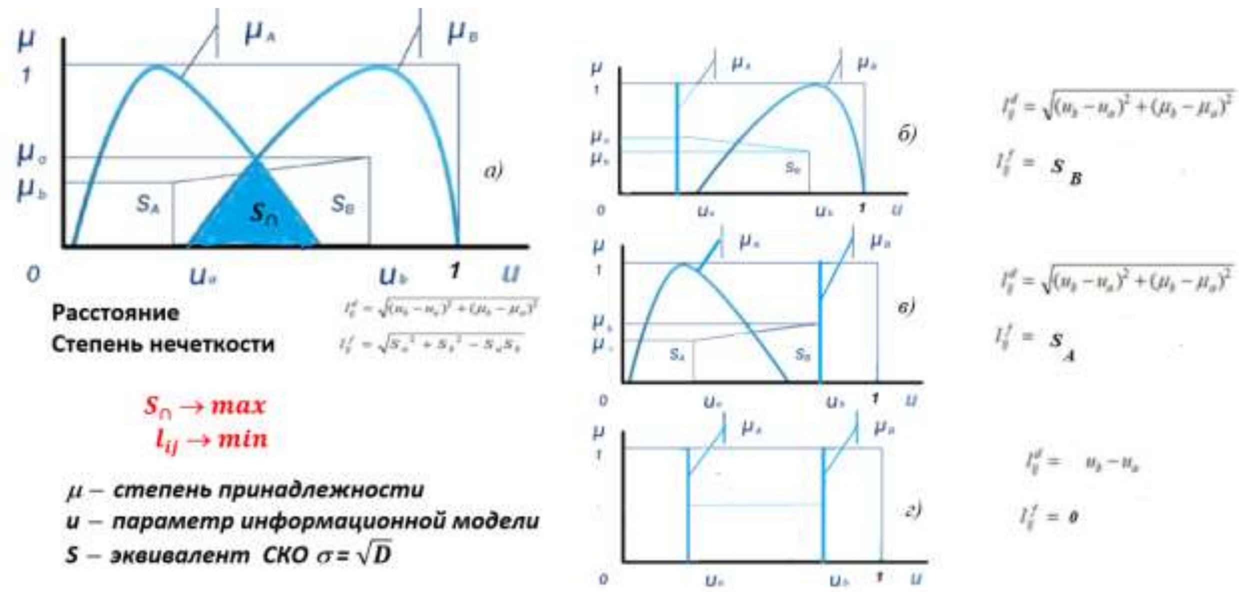

Рисунок 1. – Нахождение расстояния между нечеткими векторами: а) в общем случае; б), в) когда один из них четкий, а второй нечеткий; г) когда оба четкие.

Способ сравнения нечетких чисел (и соответствующая графическая модель сравнения нечетких объектов) получили свидетельство о государственной регистрации [6].

Нечеткий информационный объект характеризуется функцией принадлежности (ФП). В общем виде ФП объектов А и В представляют собой кривые, подобные гауссианами μ= $e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-c}{s})^{m}}$. Вид этих кривых, для конкретных условий, при разных значениях x,c,s,m может иметь форму треугольников, трапеций, быть похожими на функции распределения вероятностей (Гаусса, Вейбула, Экспоненциальной и т.д.). Чем больше пересечение функций принадлежности ($\boldsymbol{S}_{\cap}$) или чем меньше расстояние между центроидами $\boldsymbol{l}_{А,Б}$,, тем ближе между собой нечеткие значения.

Теория нечетких множеств (ТНМ), включающая понятие нечеткого числа, позволяет сравнивать с помощью такого подхода не только нечеткие числа между собой, но и нечеткие числа с четкими, а также четкие числа с четкими. (Примеры *б,в,г* рисунка 1).

Хотя приведенный график иллюстрирует одномерную ФП, метод применим и для многомерных ФП.

Пусть нужно выбрать лучший вариант из нескольких предложений, основываясь на определенных требованиях. Для этого можно использовать метод, который позволяет оценить, насколько каждый вариант соответствует этим требованиям, и выбрать наиболее подходящий.

При этом, для каждого варианта мы можем рассчитать "рассогласование" — насколько он отличается от идеального варианта, который соответствует всем требованиям.

На основе мер рассогласования (3) по отдельным параметрам, можно рассчитать общее рассогласование для i-го варианта:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m} l_{ij}, \ i=\overline{1,n}. \qquad (8)$$

Однако, не все требования одинаково важны. Поэтому мы можем присвоить каждому требованию "вес", который показывает, насколько оно важно для лица, принимающего решение (ЛПР). Иначе говоря, задание приоритета по каждому параметру с учетом предпочтений ЛПР определяет смысловую ориентацию критерия (3).

Для определения весов каждого параметра можно использовать метод анализа иерархий Т. Саати [6,7] , который позволяет сравнивать параметры попарно и устанавливать их относительную важность.

В данном исследовании для задания приоритета используется вектор весовых коэффициентов $\bar{W}$ размерности m, по числу параметров. Компоненты вектора должны удовлетворять условию [8]:

$$\sum_{j=1}^{m} W_j = 1; \quad 0 \leq w_j \leq 1, j=\overline{1,m} \tag{9}$$

Для этого «достаточно иметь информацию о всех парах сравниваемых параметров. Положив $V_m=1$, можно последовательно вычислять V_{m-1}, V_{m-2}, … V_1. На последнем этапе определяются значения компонентов весового вектора по формуле» [9]:

$$w_j = \frac{\sum_{k=j}^{m} v_{kj}}{\sum_{j=1}^{m} \sum_{r-1}^{v} v_{kj}} \tag{10}$$

Описанный метод позволяет упростить многомерную задачу определения вектора $\overrightarrow{W}$, сводя ее к многократному решению простой задачи попарного сравнения и ранжирования [9]. При этом, для каждого варианта определяется суммарное взвешенное рассогласование как скалярное произведение:

$$L_i^W = \bar{l}_i \times \bar{W} \tag{11}$$

При этом детерминированная (D_i) и нечеткая (F_i) составляющая для каждого i-го варианта определяется по формулам:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}^d \tag{12}$$

$$F_i = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}^f \tag{13}$$

Далее вычисляем полное рассогласование:

$$L_i^w = D_i \pm F_i / 2 \tag{14}$$

и уровень относительной неопределенности [10]:

$$\Delta F_i = F_i / D_i \tag{15}$$

Выражение (14) может быть выбрано в качестве критерия оценки вариантов по степени удовлетворения требований [10].

Схема принятия решения по выбору оптимального варианта можно представить в виде матрицы (Рисунок 2), «каждая строка которой представляет собой вектор рассогласования описания варианта с требованиями. Сами требования представлены строкой в нижней части таблицы. Структура предпочтений задается строкой W весовых коэффициентов по каждому из параметров»[5].

В таблице принятия решения (Рисунок 2) в первом столбце описаны варианты векторов сравниваемых нечетких объектов и нечетких требований. Справа от первого столбца располагаются столбцы, в которых указаны конкретные нечеткие значения параметров (конкретных вариантов сравниваемых информационных объектов) в виде нечетких чисел.

Вес $\sum_{j=1}^{m} W_j = 1;$ $0 \le w_j \le 1, j=\overline{1,m}$	Учитываемые параметры						$i^* = arg\,[\,\min_i\{\lvert D_i \pm F_i/2\rvert\}]$	
	P_1	P_2	P_3	…	P_{n-1}	P_n		
	w_1	w_2	w_3		w_{n-1}	w_n		
Вектор 1 V_1	l_{11}	l_{12}	l_{13}	…	l_{1n-1}	l_{1n}		
Вектор 2 V_2	l_{21}	l_{22}	l_{23}	…	l_{2n-1}	l_{2n}		
Вектор 3 V_3	l_{31}	l_{32}	l_{33}	…	l_{3n-1}	l_{3n}		
…	…	…	…	…	…	…		
Вектор *m* V_m	l_{m1}	l_{m2}	l_{m3}	…	l_{mn-1}	l_{mn}		
Вектор требований V_T							$D_i = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}^d$	$F_i = \sum_{j=1}^{n} w_j r_{ij}^f$
1 $V_{1н}$	r_{11}	r_{12}	r_{13}	…	r_{1n-1}	r_{1n}	D_1	F_1
2 $V_{2н}$	r_{21}	r_{22}	r_{23}	…	r_{2n-1}	r_{2n}	D_2	F_2
3 $V_{3н}$	r_{31}	r_{32}	r_{33}	…	r_{3n-1}	r_{3n}	D_3	F_3
…	…	…	…	…	…	…	…	…
m $V_{mн}$	r_{m1}	r_{m2}	r_{m3}	…	r_{mn-1}	r_{mn}	D_m	F_m
	Невязки						Рассогласования	

Рисунок 2. – Матрица решений проблемных ситуаций

А там же ниже – невязки, характеризующие отклонение параметров сравниваемых объектов от требований к ним. Во предпоследнем и последнем столбцах фиксируются получаемые по формулам (12) и (13) характеристики сравниваемых объектов: детерминированную $D_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \; r_{ij}^d$ и нечеткую $F_i = \sum_{j=1}^{n} w_j \; r_{ij}^f$ составляющие суммарной оценки рассогласования описания варианта с требованиями.

Данные в таблице принятия решения используются для ранжирования вариантов и выбора наилучшего. Вариант, наиболее приемлемый для реализации, определяется по формуле:

$$i^* = arg\ \{min_i\ [\ |\ D_i \pm F_i 2\ |]\}, \quad (16)$$

то есть лучшим считается вариант, у которого минимальное значение суммы невязок (формула (14))

Таким образом, используя способ нечеткого бенчмаркинга [5] и метод нечеткого многопараметрического выбора [10], можно успешно решать задачи нахождения оптимального решения в условиях слабоструктурированных проблем.

Литература

1. Петухова, А. В. Решение обратной задачи моделирования для предприятия розничной торговли с использованием теории нечётких когнитивных карт. Инженерный вестник Дона, 2023, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8262

2. Akperov G. I., Khramov V.V., Gorbacheva A.A. Using soft computing methods for the functional benchmarking of an intelligent workplace in an educational establishment Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1095. – pp. 54-60. – DOI 10.1007978-3-030-35249-3_6.

3. Храмов В. В. Концепция обеспечения эффективности организационно-технических систем на основе бионико-интеллектуального подхода. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2001. – № 2. – С. 138-141.

4. Akperov G. I., Khramov V.V., A fuzzy semantic data triangulation method used in the formation of economic clusters in southern Russia Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2020. – Vol. 1095. – P. 340-344. – DOI 10.1007978-3-030-35249-3_43.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615488 Российская Федерация. Система нечеткого бенчмаркинга (СНБ): № 2020665934: заявл. 04.12.2020: опубл. 08.04.2021. Акперов И.Г., Магеррамов И. М., Храмов В. В. и др; заявитель - частное образовательное учреждение высшего образования «Южный Университет».

6. Мироненко А. Н. Обработка данных методом анализа иерархий. Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов IV Международной научной конференции, Омск, 11 ноября 2016 года. Омск: Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 2016. С. 107-109.

7. Галлямова Е. Р., Сайфуллина Л.Д. Применение метода анализа иерархий в социально-экономических системах. Инновации в науке и практике: сборник статей по материалам XIII международной научно- практической конференции, Барнаул, 26 декабря 2018 года. Часть 2(5), 2018. С. 86-90

8. Никитина Я. С., Кужелева С.А., Соколова Ю. В. Программные средства реализации метода анализа иерархий при принятии управленческих решений Информационные системы и технологии: сборник материалов V всероссийской очной научно-технической конференции «ИСТ-2019», Курск, 20 мая 2019 года. Юго-Западный государственный университет. Курск: Юго- Западный государственный университет, 2019. С. 138-142.

9. Кравченко Т. К., Середенко Н.Н., Щербинин О.П., Коряковцева Н.К. Адаптация метода анализа иерархий к экспертной системе поддержки принятия решений (ЭСППР) Актуальные вопросы современной науки. – 2010. № 11. С. 217-22

10. Saaty T.L. American Journal of Trade and Policy. 2023. Vol. 10. No. 1. pp. 15-26.

11. Петухова А. В., Коваленко А.В., Шарпан М.В. Использование нечетких когнитивных карт для решения задачи развития муниципальных образований. Инженерный вестник Дона, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9037

References

1. Petuxova, A. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №3. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8262
2. Akperov G. I., Khramov V.V., Gorbacheva A.A. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 1095, pp. 54-60. DOI 10.1007978-3-030-35249-3_6.
3. Xramov V. V. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya, 2001, № 2. pp. 138-141.
4. Akperov G. I., Khramov V.V. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 1095, pp. 340-344. DOI 10.1007978-3-030-35249-3_43, EDN JWMJDQ.
5. Svidetel`stvo o gosudarstvennoj registracii programmy` dlya E`VM № 2021615488 Rossijskaya Federaciya. Sistema nechetkogo benchmarkinga [Certificate of state registration program No. 2021615488 Russian Federation. Fuzzy benchmarking system] (SNB): № 2020665934: zayavl. 04.12.2020: opubl. 08.04.2021. Akperov I.G., Magerramov I. M., Xramov V. V. i dr; zayavitel` - chastnoe obrazovatel`noe uchrezhdenie vy`sshego obrazovaniya «Yuzhny`j Universitet».
6. Mironenko A. N. Matematicheskoe i komp`yuternoe modelirovanie: sbornik materialov IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Omsk, 11 noyabrya 2016 goda Omsk: Omskij gosudarstvenny`j universitet im. F.M. Dostoevskogo, 2016. pp. 107-109.
7. Gallyamova E. R., Sajfullina L.D. Innovacii v nauke i praktike: sbornik statej po materialam XIII mezhdunarodnoj nauchno- prakticheskoj konferencii, Barnaul, 26 dekabrya 2018 goda, Tom Chast` 2(5), 2018. pp. 86-90.
8. Nikitina Ya. S., Kuzheleva S.A., Sokolova Yu. V Informacionny`e sistemy` i texnologii: sbornik materialov V vserossijskoj ochnoj nauchno-texnicheskoj konferencii «IST-2019», Kursk, 20 maya 2019 goda. Yugo-Zapadny`j gosudarstvenny`j universitet. Kursk: Yugo- Zapadny`j gosudarstvenny`j universitet, 2019. pp. 138-142

9. Kravchenko T. K., Seredenko N.N., Shherbinin O.P., Koryakovceva N.K. Aktual`ny`e voprosy` sovremennoj nauki, 2010. № 11. pp. 217-22.
10. Saaty T.L. American Journal of Trade and Policy. 2023. Vol. 10. No. 1. pp. 15-26.
11. Petuxova, A. V., Kovalenko A. V., Sharpan M. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9037.

Дата поступления: 05.09.2024

Дата публикации: 07.10.2024