

2. Picosecond random Raman lasing in the spectral range of 360–630 nm using powders of potassium, sodium and strontium nitrates / A.Yu. Pyatyshev et. al. // *Laser Phys. Lett.* – 2023. – V. 20. – P. 025401 (5).

3. Zeng-Ping Chen, Li-Mei Li, Jing-Wen Jin. Quantitative Analysis of Powder Mixtures by Raman Spectrometry: the influence of particle size and its correction // *Anal.Chem.* – 2012. – V. 84. – P. 4088–4094.

4. P. Kristova, L. J. Hopkinson, K. J. Rutt. The Effect of the Particle Size on the Fundamental Vibrations of the $[\text{CO}_3^{2-}]$ Anion in Calcite // *J. Phys. Chem.* – 2015. – V. 119. – P. 4891–4897.

5. L. Macalik, J. Hanuza, A. A. Kaminskii. Polarized infrared and Raman spectra of $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ and their interpretation based on normal coordinate analysis // *J. Raman Spectrosc.* – 2002. V. 33. – P. 92–103.

6. Research progress of crystalline Raman yellow lasers / Pengbo Jiang [et al.]// *Optics and Laser Technology.* – 2024. V. 169. – P. 110072.

7. P. K. Duy, Seulah Chun, Hoeil Chung. Characterization of Raman Scattering in Solid Samples with Different Particle Sizes and Elucidation on the Trends of Particle Size-Dependent Intensity Variations in Relation to Changes in the Sizes of Laser Illumination and Detection Area // *Analytical Chem.* – 2017.

8. Bright random laser emission from a laser-conditioned powder/ B.H. Hokr [et al.] // *Nature Commun.* – 2014. – A5356.

УДК 004.827

А.Э. Гусейнов, асп.
(АГУНП, г. Баку, Азербайджан)

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Аннотация. В данной работе рассматривается возможность применения аппарата нечеткой логики для формального представления и структурирования экспертных знаний, используемых в интеллектуальных и экспертных системах. В отличие от традиционных подходов, ориентированных преимущественно на построение алгоритмов логического вывода, основной акцент сделан на описании понятий предметной области и смысловых связей между ними. Для формализации экспертных оценок используются нечеткие множества и лингвистические переменные, позволяющие учитывать размытость границ понятий и субъективный характер знаний эксперта. В работе приводятся математические модели основных элементов нечеткого представления знаний, а также программный пример на Python, иллюстрирующий реализацию лингвистических понятий.

Ключевые слова: нечеткая логика, экспертные знания, представление знаний, лингвистические переменные.

1. Введение. При создании интеллектуальных систем, применяемых в технических, экономических и социально-ориентированных областях, одной из ключевых задач является формальное представление знаний, полученных от специалистов предметной области. Такие знания, как правило, формируются на основе практического опыта и интуитивных представлений эксперта и чаще всего выражаются в качественной, лингвистической форме. Понятия типа «высокая нагрузка», «умеренный риск» или «достаточный уровень надежности» не имеют строгих числовых границ и плохо поддаются описанию средствами классической логики.

Попытки использовать бинарные модели приводят к необходимости задания жестких пороговых значений, что существенно упрощает модель предметной области и, как правило, искажает исходный смысл экспертных оценок. Вероятностные методы позволяют учитывать неопределенность, однако ориентированы прежде всего на описание случайных процессов и не всегда адекватно отражают неопределенность, связанную именно с размытостью понятий и субъективностью экспертного восприятия [1]. В результате возникает необходимость в использовании формального аппарата, способного сохранить семантику экспертных знаний и обеспечить их структурированное представление.

Одним из таких аппаратов является нечёткая логика, предложенная Л. А. Заде [2]. В рамках данной работы нечеткая логика рассматривается не столько как инструмент принятия решений, сколько как средство описания и структурирования понятий предметной области и связей между ними.

2. Формальное описание экспертных понятий. Основным элементом нечёткой логики является нечёткое множество. Пусть X — универсальное множество значений некоторого параметра. Тогда нечёткое множество $A \subset X$ задаётся функцией принадлежности:

$$\mu_A(x) \in [0,1] \quad (1)$$

Которая определяет степень соответствия элемента x заданному понятию [2].

В отличие от классических множеств, где принадлежность элемента определяется бинарно, использование функции принадлежности позволяет описывать плавный переход между различными состояниями. Это особенно важно при формализации экспертных понятий, границы которых, как правило, определяются не точными измерениями, а субъективными оценками специалиста.

В качестве примера можно рассмотреть понятие «высокая нагрузка системы», которое часто используется при анализе технических и информационных систем. Такое понятие может быть описано кусочно-линейной функцией принадлежности:

$$\mu_{\text{high}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (2)$$

Параметры a и b задаются экспертом и отражают его представление о границах соответствующего понятия. Подобный подход позволяет формализовать знания без их излишней дискретизации [3].

3. Операции над нечеткими множествами и агрегирование знаний. Для построения структуры экспертных знаний важную роль играют операции над нечеткими множествами. На практике наиболее часто используются операции пересечения, объединения и дополнения, которые в простейшем случае могут быть определены следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu_{A \cap B}(x) &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) \\ \mu_{A \cup B}(x) &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \\ \mu_{\neg A}(x) &= 1 - \mu_A(x) \end{aligned} \quad (3)$$

Использование этих операций позволяет описывать сложные экспертные конструкции, объединяющие несколько понятий. Например, состояние системы может рассматриваться как «критическое» в том случае, если одновременно выполняются условия «высокая нагрузка» и «высокий риск». Таким образом, агрегирование нечетких множеств обеспечивает формальное описание взаимосвязей между отдельными элементами структуры знаний.

4. Лингвистические переменные в структуре знаний. Для описания сложных понятий используется понятие лингвистической переменной, введенное Л. А. Заде [4]. Лингвистическая переменная характеризуется набором термов, каждый из которых соответствует определенному нечеткому множеству.

Например, переменная «уровень риска» может принимать значения «низкий», «средний» и «высокий». В этом случае структура знаний предметной области задается не отдельными числовыми параметрами, а системой взаимосвязанных лингвистических понятий. Такой подход обеспечивает наглядность и интерпретируемость модели [5].

5. Нечеткие правила как элементы структуры предметной области. Связи между лингвистическими переменными могут быть описаны с помощью нечетких правил вида:

$$\text{IF } x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B \text{ THEN } z \text{ is } C \quad (4)$$

В рамках данной работы такие правила рассматриваются не как алгоритмические конструкции, а как средство описания структуры предметной области. Они фиксируют причинно-смысловые связи между понятиями, используемыми экспертом, и тем самым формируют основу базы знаний интеллектуальной системы [6].

6. Пример программной реализации. Для иллюстрации практической применимости описанных моделей ниже приведен пример задания нескольких лингвистических термов для параметра «нагрузка системы» на языке Python:

```
def low_load(x):
    return max(0.0, min(1.0, (50 - x) / 20))
def medium_load(x):
    if 40 <= x <= 70:
        return (x - 40) / 30
    elif 70 < x <= 90:
        return (90 - x) / 20
    else:
        return 0.0
def high_load(x):
    if x <= 60:
        return 0.0
    elif 60 < x < 80:
        return (x - 60) / 20
    else:
        return 1.0
values = [30, 50, 70, 85]
for v in values:
    print(v, low_load(v), medium_load(v), high_load(v))
```

Данный фрагмент демонстрирует, что лингвистические понятия могут быть непосредственно реализованы в программной форме и использоваться в качестве элементов структуры знаний. Аналогичным образом могут быть заданы другие переменные и связи между ними [7].

7. Заключение. Проведенный анализ показывает, что нечеткая логика может эффективно применяться для структурирования экспертных знаний. Использование нечетких множеств и лингвистических переменных позволяет формализовать размытые понятия и со-

хранить семантику экспертных оценок. Такой подход повышает интерпретируемость интеллектуальных систем и облегчает их дальнейшее развитие и модификацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dubois D., Prade H. Fuzzy sets and probability: misunderstandings, bridges and gaps // Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZY'93). – San Francisco, CA, USA: IEEE, 1993. – P. 1059-1068.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
3. Klir G. J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995. – 592 p.
4. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable // Information Sciences. – 1975. – Vol. 8, No. 3. – P. 199-249.
5. Kosko B. Fuzzy Engineering. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1997. – 400 p.
6. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2010. – 1132 p.
7. Аверкин А. Н., Батыршин И. З., Блишун А. Ф., Силов В. Б., Тарасов В. Б. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

УДК 004.056

С.А. Евдокимова, доц., канд. техн. наук,
В.С. Моисеев, асп.,
А.В. Скрыпников, зав. кафедрой ИБ, проф., д-р техн. наук
(ВГУИТ, г. Воронеж)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Современные корпоративные и промышленные сети всё чаще включают в себя устройства Интернета вещей (IoT), которые играют ключевую роль в автоматизации процессов, мониторинге окружающей среды, управлении доступом и повышении общей эффективности бизнеса. Однако массовое внедрение IoT сопровождается ростом угроз информационной безопасности: использование стандартных паролей, наличие уязвимых прошивок, открытые порты, нешифрованный трафик, отсутствие централизованного контроля и мониторинга [1-3].